

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

*Материалы
Национальной с международным участием
научно-практической конференции
студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов,
посвященной 10-летию создания
Института промышленных технологий и инжиниринга*

Том II

Тюмень
ТИУ
2018

УДК 338.45 (06)+656.5(06)

ББК 65.301

Э 653

Ответственный редактор:

кандидат технических наук, доцент А. Н. Халин

Редакционная коллегия:

Г. А. Хмара, Ф. А. Лосев, А. А. Загорская, Н. В. Рыдалина,
М. В. Алфёрова, А. М. Глазунов, А. И. Стариков,
З. С. Кутрунова, Е. А. Каспер, Н. Л. Кузьмина

Э 653

Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 10-летию создания Института промышленных технологий и инжиниринга / отв. ред. А. Н. Халин. – Тюмень: ТИУ, 2018.

Том II. – 366 с.

ISBN 978-5-9961-1877-9 (*общ.*)

ISBN 978-5-9961-1876-2 (*Том 2*)

В издании опубликованы статьи и доклады, представленные на Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, в которых изложены результаты исследовательских и опытно-конструкторских работ по широкому кругу вопросов.

В состав второго тома вошли материалы работы секций: «Строительные материалы и изделия», «Теплоэнергетика», «Химическое производство», «Электроэнергетика и электротехника».

Издание предназначено для научных, социально-гуманитарных и инженерно-технических работников, а также обучающихся технических и гуманитарных вузов.

УДК 338.45 (06)+656.5(06)

ББК 65.301

ISBN 978-5-9961-1877-9 (*общ.*)
ISBN 978-5-9961-1876-2 (*Том 2*)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ».....	11
<i>Айзман Т.Д.</i> ВЛИЯНИЕ МОРОЗОЗАЩИТНОГО СЛОЯ ИЗ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ НА МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	11
<i>Алексеев В. С., Бурдукова А. А., Солонина В. А.</i> ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	13
<i>Антипина А. А.</i> ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ.....	16
<i>Ашуров М. А., Филипенко П. В., Зимакова Г. А.</i> ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ГЕОПОЛИМЕРБЕТОНОВ ОТ ДИСПЕРСИОННОГО СОСТАВА ШЛАКОВОГО КОМПОНЕНТА	19
<i>Бочкарева О. С., Каспер Е. А., Жукова В. В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ФИБРОБЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	22
<i>Григорашкина Е.О., Белов Д.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ.....	25
<i>Григорашкина Е.О., Белов Д.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ, МИКРОСТРУКТУРЫ И СОСТАВА СТАЛИ Х80, А ТАКЖЕ ПРОЦЕССА ЕЕ СВАРКИ С ВЫСОКОЙ ПОГОННОЙ ЭНЕРГИЕЙ	29
<i>Григорашкина Е.О., Белов Д.А.</i> МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНОЙ ПЛЕНКИ В ПРОЦЕССЕ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ ТРУБОПРОВОДА МАРКИ Х65	33
<i>Зелик Д.И.</i> ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	37
<i>Зимакова Г.А., Рюпина Е.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЕВРОПЕЛИТОВОЙ ПОРОДЫ НА СВОЙСТВА СИЛИКАТНОГО БЕТОНА	41
<i>Зимакова Г. А., Алимтеева А. В., Беспалова Н. Н., Степанова Ж. Н.</i> МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ БЕТОНЫ ПЛОТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ.....	44

<i>Зимакова Г.А., Улихина А.В.</i> ОПТИМИЗИРОВАННАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА.....	47
<i>Зимакова Г. А., Филимонов А. И.</i> САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЙСЯ БЕТОН.....	52
<i>Зимакова Г.А., Илясова С. В., Аристов Е. А.</i> ПРИРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОПУДРИВАНИЯ ГРАНУЛ ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ	54
<i>Каспер Е.А., Баёв А. А.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСА	57
<i>Каспер Е.А., Камалутдинов Р.М., Бочкарёва О.С.</i> ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРФЯНОЙ ЗОЛЫ	60
<i>Каспер Е.А., Малеванная М.И.</i> ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДРЕВЕСНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ.....	64
<i>Каспер Е.А., Сошин М.А., Баёв А. А.</i> ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ	67
<i>Матвеева М. А., Солонина В.А., Илясова С.В.</i> НАПОЛНЕНИЕ МАТРИЦЫ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО	71
<i>Матыс Е.Г., Каспер Е.И., Тарасов Р.А.</i> ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ	74
<i>Матыс Е.Г., Тарасов Р.А., Каспер Е.И.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ БЕТОНОВ.....	77
<i>Суровцев И.А., Солонина В.А.</i> МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ В СОСТАВЕ ВЯЖУЩЕГО НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ.....	81
<i>Сыч К. М., Артёмов А. Ю., Калимуллина Д. С.</i> ПОВРЕЖДЕНИЕ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА И МЕТОДЫ ЕГО РЕМОНТА	84
<i>Хайров Д. С.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕЗИНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА	86
<i>Чукомина А.Ю., Каспер Е.И., Зайцева В.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ	89
<i>Ястремский Д.А., Абайдуллина Т.Н., Шабанова Ю.Н.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА МЕТОДОМ ФОТОКОЛОРИМЕТРИИ.....	93
СЕКЦИЯ «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА»	97

<i>Абдалов И.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЫРОЙ ВОДЫ ПЕРЕД ХВО НА ТЭЦ.....	97
<i>Аксенов Б. Г., Абросимова С. А.</i> РАСЧЕТ ТРЕХМЕРНОГО ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОКРУГ ТРУБОПРОВОДА В МЕРЗЛОМ ГРУНТЕ	101
<i>Антипин С. В., Захаров В. В., Рыдалина Н .В.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ZULUGIS ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	104
<i>Белоглазов К.И., Ковязина В.А., Германова Т.В.</i> ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ ОТ ЛИЦЕНЗИОННОГО УЧАСТКА ДО ПРЕДПРИЯТИЯ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ.....	108
<i>Киреев Д.В., Светлаков И.А.</i> ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ.....	112
<i>Киселёв А.В., Захаренко С.О.</i> ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	114
<i>Ковязина В.А., Белоглазов К.И.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕЛЛЕТ	117
<i>Маловастый А.Е., Захаренко С.О.</i> КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА	121
<i>Рыдалина Н.В.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА	125
<i>Семенова Т. С., Быта А. О., Германова Т.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ для ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ	129
<i>Семенова Т. С., Антонова Е. О.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ	133
<i>Ткаченко Г. Н.</i> ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	137
<i>Третьякова П. А., Антипин А. В.</i> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОФИКАЦИИ	141
<i>Федоров В.К.</i> ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ ПОРИСТЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВСТАВКАМИ.....	145

<i>Фирцева С. В., Перевозчикова О. Е.</i> К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	148
<i>Хисматуллина И.З.</i> МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВА ЭНЕРГИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА	151
<i>Хисматуллина И.З.</i> ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ В АППАРАТАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ.....	155
<i>Чистяков Е.В.</i> ОПТИМАЛЬНЫЙ УГОЛ НАКЛОНА СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В УСЛОВИЯХ Г. ТЮМЕНИ	159
<i>Щербакова Е.Н., Невзорова Е.С.</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....	163
<i>Юдина П.С., Пахомова А.А., Германова Т.В.</i> КАЛОРИЯ И ДЖОУЛЬ В ТЕХНИЧЕСКОЙ, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И БЫТОВОЙ СФЕРАХ	167
СЕКЦИЯ «ХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО».....	172
<i>Бочина А.А., Савченков А.Л.</i> АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ВОДОРОДА	172
<i>Глазкова А.А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА	174
<i>Глазунов А.М., Дмитриева Т.Б.</i> ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПЛАСТОВОЙ СМЕСИ БЕРЕГОВОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ	176
<i>Гуров Ю. П., Курмачев Н. А.</i> СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ЧЕТКОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ НА УСТАНОВКАХ АВТ ...	179
<i>Гуров Ю.П., Садыков К.Д.</i> ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИЦЕЛЛЯРНЫХ СИСТЕМ.....	181
<i>Гуров Ю. П., Сулейманова Л. Ф.</i> ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КАТАЛИЗ РЕАКЦИЙ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА С ПРОПИЛЕНОМ.....	183
<i>Демяненко Н.А., Хорюшин В.Ю., Мазитов Р.Ф.</i> МАССИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТОВОТКЛОНЯЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ. ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ	187

<i>Денисенко Д. В.</i> РАЗРАБОТКА КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЯ ИЗ СПЛАВА FE-NI	190
<i>Дерюгина О. П., Мухин К. А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ.....	193
<i>Дерюгина О. П., Борисова С. В.</i> ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ НЕФТИ	195
<i>Дерюгина О. П., Бичевина Е. А.</i> ЦЕННЕЙШИЙ ЭНЕРГОРЕСУРС РОССИИ - ПОПУТНЫЙ НЕФТЯНОЙ ГАЗ	198
<i>Дерюгина О.П.</i> ОСНОВНЫЕ ИНГИБИТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ.....	201
<i>Дерюгина О. П., Кемелбеков Э. К.</i> ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЭК	203
<i>Ишиматова И.Ф.</i> АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛА АЛКИЛИРОВАНИЕМ.....	206
<i>Казанцева А. М., Савченков А.Л.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УСТАНОВОК ПОДГОТОВКИ НЕФТИ.....	210
<i>Кирьянова Т.А., Байда А.А.</i> ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ нефтяных парафинов	212
<i>Колесниченко С.В., Савченков А.Л.</i> ПРОИЗВОДСТВО ИГОЛЬЧАТОГО КОКСА.....	215
<i>Кошечева А.А., Таранова Л.В.</i> НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА УСТАНОВКАХ ПИРОЛИЗА ЭТАНА.....	218
<i>Лукманов Р. Р., Гуров Ю. П.</i> ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СЕЛЕКТИВНОСТЬ РЕАКЦИИ РИФОРМИНГА.....	221
<i>Майорова О. О., Дрогалев В. В., Агаев С. Г., Байда А. А., Кобулова В. П.</i> ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ПИЩЕВОГО ПАРАФИНА П-2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ	225
<i>Рябцев К. Ю.</i> ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОДЕПАРАФИНИЗАЦИИ И ПУТИ К ПОВЫШЕНИЮ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	229
<i>Семухин С.П., Рябцев К.Ю.</i> УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫХОДА СВЕТЛЫХ ФРАКЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ ВОВЛЕЧЕНИЯ НЕЗАДЕЙСТВОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДЕПАРАФИНИЗАЦИИ	231
<i>Симаков С. Е., Савченков А. Л.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРООЧИСТКИ.....	234

<i>Скворцова Е. Н., Вачаева Т. Н.</i> АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ПЕРЕРАБОТКЕ.....	237
<i>Тамазян Д. В., Савченков А. Л.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ	240
<i>Трапезников Е. А.</i> СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА В БЕНЗИНАХ С ПОМОЩЬЮ АНТИДЕТОНАЦИОННЫХ ПРИСАДОК	244
<i>Халикова А. Р., Бармин А. В.</i> КОМПЛЕКСНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОДБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО КИСЛОТНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЦЕОЛИТИЗИРОВАННЫХ ПОРОД ПЯКЯХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	246
<i>Шмидт В. В., Мартюк Д. Р., Жернакова Д. А.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ	250
<i>Шурилина Т.В., Савченков А.Л.</i> ТЕХНОЛОГИЯ GTL	252
<i>Яковенко Л. Ф.</i> ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ РЕЦЕПТУР СПЕЦИАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА ИЗ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ РАЗНОСТЕЙ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	255
СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»	260
<i>Бачинин Д. Ф.</i> ВАРИАНТЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ.....	260
<i>Брехов П. Я.</i> АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ. РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНИЦИЙ	263
<i>Валюженич А. А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА	267
<i>Вергун С. П., Вологжин В. А., Мансуров М. О.</i> ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМ СИММЕТРИРОВАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ НАГРУЗОК ИНДУКЦИОННОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА	271
<i>Вологжин В. А., Паутов Д. Н.</i> ИНДУКЦИОННАЯ СИСТЕМЫ НАГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ.....	275
<i>Втюрин А. В., Хмара Г.А.</i> ПРЕДПОСЫЛКИ К ВНЕДРЕНИЮ СТАНДАРТА МЭК-61850	279

<i>Ермакова Ю. П.</i> К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ.....	281
<i>Кокина А. В., Шахова Л. В.</i> ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ.....	285
<i>Колесов В. И., Хмара Г. А.</i> ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС В МЕТРИКЕ ОБОБЩЕННОГО ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ	287
<i>Костин В. Е.</i> ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ КАК ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ.....	292
<i>Котельников К. А., Власова Е. П.</i> ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА	295
<i>Кудряшов Р. А.</i> ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	299
<i>Логунов А. В.</i> СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ НЕФТИ УСТАНОВКАМИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ	303
<i>Логунов А. В., Эглит Э. К., Попова А. В., Антропова В. Р.</i> ОБЗОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	306
<i>Лосев Ф. А.</i> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ	309
<i>Мансуров М. О.</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ.....	312
<i>Махмутова В. Р., Власова Е. П.</i> ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ.....	315
<i>Москвина О.И., Немятова Ю.С., Попенко Е.В., Садыкова Л.Л., Хмара Г.А.</i> ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СОВМЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯ	319
<i>Наумкин А. А., Власова Е. П.</i> ДЕПАРАФИНИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА.....	322
<i>Новикова М. В.</i> СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	325
<i>Орлов В. С., Попов Е. И.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ.....	327

<i>Орлов В. С., Сафронов С. Н.</i> УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ.....	330
<i>Орлов В. С., Шеломенцев В. А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАВКИ НАЛЕДИ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ.....	333
<i>Петров С.В.</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА СЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	336
<i>Петухова Н. Н.</i> ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	338
<i>Рохлов В.А.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ ИНС.....	341
<i>Сидоров С. В.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО МЕСТА ОБРЫВА ПРОВОДА И ОЗЗ ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ 6(10) КВ	344
<i>Сухачев И. С., Сушков В. В., Сидоров С. В.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛОВ	347
<i>Ушаков И. С.</i> ОДНОФАЗНЫЕ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ	351
<i>Чебрякова Ю. С., Аграфенин Е. А.</i> РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА.....	354
<i>Чертков А. Ю.</i> ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТА НЕФТИ	358
<i>Яковлев В. В.</i> ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	362

УДК 1418

**ВЛИЯНИЕ МОРОЗОЗАЩИТНОГО СЛОЯ ИЗ
ГРАНУЛИРОВАННОЙ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ НА МОРОЗНОЕ
ПУЧЕНИЕ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Айзман Т.Д., обучающаяся, taizman@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Целью исследования является изучение процессов промерзания грунтов земляного полотна автомобильных дорог и поиску методов борьбы с морозным пучением. Выявление зависимости состояния автомобильных дорог от внешних факторов, причины возникновения морозного пучения дорожных сооружений. Предложено решение важной проблемы, которое позволит повысить долговечность и надежность дорожных сооружений. Влияния морозозащитного слоя из гранулированной пеностеклокерамики на температурный режим и морозное пучение.

Ключевые слова: мерзлотные условия, автомобильные дороги, морозное пучение, гранулированная пеностеклокерамика.

В России основной транспортной системой являются железные и автомобильные дороги. Но из-за деформации дорог под действием внешних факторов снижается безопасность их эксплуатации. Уже давно стоит проблема обеспечения устойчивости сооружений в зонах вечной мерзлоты, но из-за недостаточной проработки вопроса, о причинах возникновения деформаций на дорожных конструкциях, меры по ее устранению не приносят требуемого результата.

В результате исследований известно, что состояние автомобильных дорог напрямую зависит от природно-климатических условий. После промерзания или оттаивания земли появляется большое количество деформаций дорожных конструкций. Проведение ремонта, поврежденных дорог, является достаточно сложным процессом и подразумевает больших финансовых затрат. Разрушение автомобильных дорог, обусловленное морозным пучением грунтов, имеет актуальность почти для 90% площади России. При проектировании дорожных конструкций не всегда демонстрируют необходимость борьбы с морозным пучением дорог, для борьбы с этим следует заменить местный грунт, на грунт который не подвержен пучению. Но это решение может быть не оправданно с экономической/технической точки зрения. Морозным пучением называют деформацию и разрушение автомобильных дорог, которые образуются в период оттаивания или промерзания на дорожной одежде. Проявляется в

виде впадин, выбоин, просадки и т.д. Процесс морозного пучения сопровождается наличием двух факторов: воды и отрицательной температуры. Это часто встречается при залегании глинистых грунтов, которые отлично удерживают влагу. Также морозное пучение дорог возникает при высоком уровне грунтовых вод. Так же для снижения глубины промерзания грунтов используются теплоизоляционные материалы, тем самым снижают риск морозного пучения. Например, гранулированная пеностеклокерамика отлично подходит для использования при строительстве дорожных сооружений, так как материал обладает нужным набором качеств и характеристик. Данный материал способен повысить конкурентоспособность в отрасли дорожного строительства и снизить импорт специальных материалов для строительства из других регионов, что будет являться залогом экономического развития всех регионов России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков, Е. А. Гранулированный материал на основе опалового сырья для устройства морозозащитных слоев дорожной одежды / Е. А. Коротков, К. С. Иванов // Вестник СИБАДИ. - 2015. - № 3. – С. 150-153.
2. Коротков, Е. А. Новые дорожные конструкции для холодных регионов с устройством морозозащитных, теплоизоляционных и дренирующих слоев из гранулированного теплоизоляционного материала / Е. А. Коротков, К. С. Иванов // Вестник СИБАДИ. - 2015. - № 5. – С. 105-112
3. Коротков, Е. А. Гранулированные теплоизоляционные материалы из кремнистого сырья / Е. А. Коротков, А. О. Константинов, К. С. Иванов // Вестник СИБАДИ. - 2015. - № 7. – С. 68-69.
4. Мельникова, А. А. Новые инженерные решения для строительства автомобильных дорог на участках болотистой местности / А. А. Мельникова, К. С. Иванов // Вестник ДиатомИК. - 2016. - № 1. – С. 203-205.
5. Мельникова, А. А. Новый теплоизоляционный материал для дорожного строительства. / А. А. Мельникова, К. С. Иванов // Вестник ДиатомИК. - 2016. - № 3. – С. 36-38.

ВЛИЯНИЕ ВЫГОРАЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Алексеевко В.С., магистрант, vlad.a1exeenko@yandex.ru

Бурдукова А.А., магистрант, bursandra@rambler.ru

Солонина В.А., канд. техн. наук, доцент, soloninava@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Внедрение древесной муки в качестве выгорающей добавки для получения высокопористого черепка. В статье рассмотрены разные дозировки древесной муки и влияния их на готовый материал.

Ключевые слова. Керамический кирпич, глина, песок, древесная мука, теплопроводность.

На рынке стройиндустрии, керамические стеновые материалы занимают лидирующие позиции. Выбор в пользу данного материала, обусловлен экологичностью, высокими показателями долговечности и архитектурной выразительностью.

В связи с тем, что значительно повышаются требования к термическому сопротивлению ограждающих конструкций, появляется необходимость повышения теплофизических свойств керамических материалов [1]. Основным технологическим приемом получения высокоэффективной керамики является создание черепка с высокопористой структурой.

Высокая пористость керамического стенового материала возможна за счет введения в глиняную массу выгорающих добавок. Помимо повышения пористости черепка выгорающие добавки способствуют равномерному спеканию, регулируют температуру обжига.

Широкое применение в получении пористой керамики получили древесные опилки. Однако, использование опила в составе керамической шихты сопряжено с технологическими трудностями. При введении в глиняную массу опилки впитывают влагу и набухают, а в процессе сушки происходит неравномерная усадка сырца и образование трещин. Форма частиц опила не позволяет получить равномерно распределенную мелкую пористость.

Наиболее оптимальной выгорающей добавкой для получения пористой керамики является древесная мука. За счёт тонкой дисперсности частиц, мука распределяется по всему объёму керамической массы, что позволяет получить более однородную мелкопористую структуру [2].

В данной работе в качестве глинистого сырья использовалась глина Кыштырлинского месторождения, которая характеризуется высоким

числом пластичности. Для снижения числа пластичности глины, в качестве отощающей добавки применялся кварцевый песок. В качестве выгорающей добавки, использовалась древесная мука хвойных пород древесины, с размером частиц менее 0,9 мм.

Из составов сырьевой шихты, представленных в таблице 1, формовались образцы-цилиндры. После сушки в течение 48 часов при температуре 45⁰С образцы подвергались обжигу в лабораторной печи, до различной максимальной температуры.

Таблица 1

Составы керамических масс				
Сырьевые компоненты, %	1 состав	2 состав	3 состав	4 состав
Глина	70	68	66	64
Кварцевый песок	30	29	28	27
Древесная мука	-	3	6	9

Теплопроводность керамических материалов (рисунок 1) получена расчетным методом по формуле В.П. Некрасова (1) в зависимости от их плотности

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot d^2} - 0,16 \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·⁰С); d – относительная плотность материала.

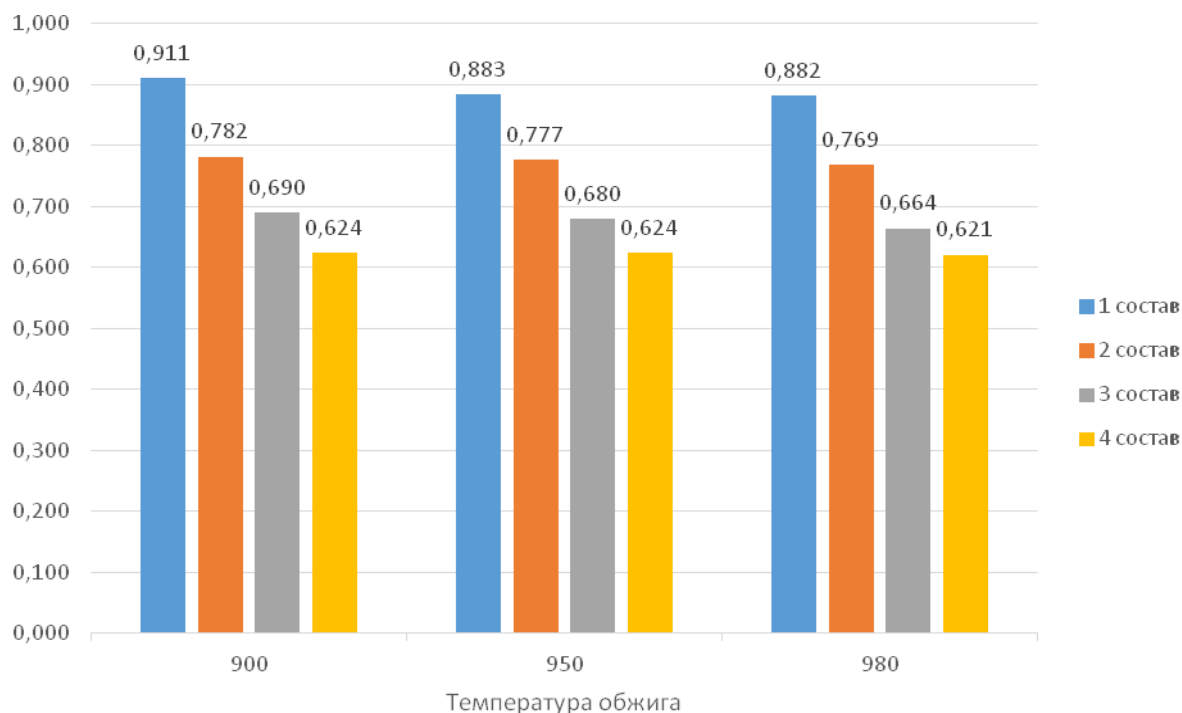


Рис. 1. Теплопроводность

Испытания на прочность при сжатии образцов выполнены в соответствии с ГОСТ 8462-85 [3], результаты представлены на рисунке 2.

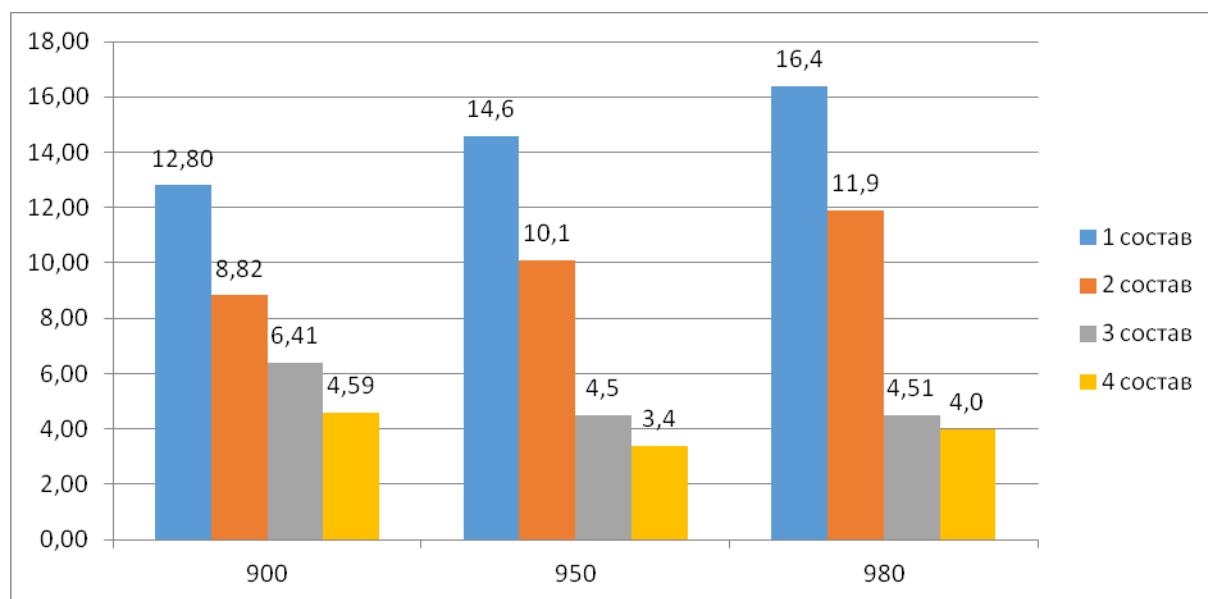


Рис. 2. Прочность при сжатии образцов-цилиндров

Из результатов видно, что в процессе обжига древесная мука выгорает, образуя поры. За счёт увеличения количества пор, снижается средняя плотность и, соответственно, коэффициент теплопроводности керамики [4]. Но, при положительных теплофизических свойствах ухудшается прочность черепка, что требует дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003: СП 50.13330.2012. – Введ. 2013-07-01. – Москва.: Минрегион России, 2012. – 116 с.

2. Мороз, Б. И. Пористая керамика на основе отходов промышленности / Б. И. Мороз, П. Н. Хорьков. // Строительные материалы. – 1992. - № 4. – С. 16-18.

3. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе: ГОСТ 8462-85. – Введ. 1985-07-01. – Москва: Издательство стандартов, 1985, - 7 с.

4. Шелковкина, Н. В. Высокотемпературные теплоизоляционные изделия на основе отходов производства кварцевой керамики [Рукопись] : диссертация канд. техн. наук: 05.23.05 / Н. В. Шелковкина. – Москва, 2002. – 174 с.

Научный руководитель: Солонина В.А., канд. техн. наук.

ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ

Антипина А.А., магистрант, alexandra27antipina@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Практическое значение применения модифицированных битумов в дорожном строительстве возрастает в связи с увеличением грузонапряженности и интенсивности движения на автомобильных дорогах.

В основном для повышения качества дорожных битумов используют полимеры, поэтому исследование способов улучшения свойств битума путем добавления определенных полимеров является актуальным вопросом. Целью данной работы является подбор оптимального состава полимерно-битумного вяжущего. Опираясь на проведенные испытания (глубина проникновения иглы, температура размягчения, растяжимость, эластичность, температура хрупкости) можно сделать вывод, что подобранный состав ПБВ имеет наилучшие показатели по однородности, температурному интервалу вязкопластичного состояния битума, прилипанию к материалу (адгезии), эластичности.

Ключевые слова: битум, модифицированный битум, полимер, адгезионная добавка, пластификатор.

По всему миру постоянно растет спрос на битум и другие компоненты нефти поскольку увеличивается потребность в организации дорожного строительства. В то же время технология переработки нефти в целях увеличения объемов выхода топливных и масляных компонентов постоянно улучшалась, а качество сырья для производства битума становилось все ниже, хотя увеличение интенсивности дорожного движения и рост нагрузки на дорожное покрытие требовали его повышения. Поэтому одним из основных условий повышения долговечности асфальтобетонных покрытий является улучшение свойств битумов и правильный выбор их с учетом условий эксплуатации. Эффективным способом повышения качества дорожных битумов является регулирование их свойств путем применения различных модифицирующих добавок (полимеров, резиновой крошки, серы и др.). Применение полимеров для модификации битумов относится к одной из наиболее активно внедряющихся технологий строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог, что является актуальным. Битум, модифицированный добавками полимера, называется полимерно-битумным вяжущим (ПБВ). При необходимости в ПБВ добавляют пластификатор и адгезионную добавку. Наибольшее распространение получили полимерно-битумные вяжущие на основе блок-сополимеров типа стирол-бутадиен-стирольного (СБС), так как решающим фактором при выборе полимера является устойчивость системы «битум-полимер» [1,2].

Полимеры типа СБС имеют ряд преимуществ по сравнению с другими полимерами: полимеры типа СБС создают пространственную эластичную структурную сетку в битуме при их минимальном содержании по сравнению с другими полимерами; хорошо совмещаются с битумами так как имеют низкую молекулярную массу; сочетают в себе высокую прочность и эластичность и низкую температуру стеклования [3].

В данной работе в качестве полимерной добавки использовали СБС LG LUPREN 501S, он повышает устойчивость дорожного покрытия к износу и продлевает срок службы полотна в широком температурном диапазоне [3].

Дополнительно применяли пластификатор РН-20, полученный на нефтяной основе, что гарантирует отличное взаимодействие с битумом, при его использовании уменьшается расход полимера, ускоряется процесс приготовления. Также применяли адгезионную добавку STARDOPE 130P, разработанную специально для улучшения качества горячих асфальтовых смесей;

При подборе состава ПБВ приготовили шесть образцов с различной дозировкой компонентов (таблица 1).

Качество приготовленного ПБВ оценивали по стандартному набору показателей, а именно: глубина проникновения иглы, температура размягчения, растяжимость, эластичность и температура хрупкости. Исследование полимерно-битумного вяжущего проводилось в соответствии с ГОСТ Р 52056-2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блок-сополимеров типа стирол-бутадиен-стирол» [4].

На основании определения комплекса показателей, получили оптимальный состав ПБВ. Установили, что состав № 6 имеет наилучшие значения исходя из эксплуатационных характеристик. Полученный ПБВ содержит битум БНД 90/130 – 86,3 %, полимер LG S501 – 3,5 %, пластификатор РН-20 – 10,0 % и адгезионную добавку Stardope 130P – 0,2 %.

Таблица 1

Состав полимерно-битумных вяжущих

№ п/п	Материал	Дозировка, %		
		Состав №1	Состав №2	Состав №3
1	Битум БНД 90/130	92,3	91,8	92,3
2	Полимер LG S501	2,5	3,0	3,5
3	Пластификатор РН-20	5	5	5
4	Адгезионная добавка Stardope 130P	0,2	0,2	0,2
1	Битум БНД 90/130	87,3	86,8	86,3
2	Полимер LG S501	2,5	3,0	3,5
3	Пластификатор РН-20	10,0	10,0	10,0
4	Адгезионная добавка Stardope 130P	0,2	0,2	0,2

Таблица 2

Результаты испытания полимерно-битумных вяжущих

№ состава	Π_{25} , см ⁻¹	T_p , °С	D_{25} , см	D_0 , см	Э, %	T_{xp} , °С	Марка ПБВ
1	92	59,1	82	8,2	79,0	-24	ПБВ 90
2	90	66,2	75	7,3	81,0	-26	ПБВ 60
3	78	72,4	73	7,0	86	-28	ПБВ 60
4	102	58,3	81	6,5	89	-31	ПБВ 90
5	98	69,4	89	8,6	92	-34	ПБВ 90
6	92	72,2	92	9,1	98	-36	ПБВ 90

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

Данное ПБВ имеет высокую эластичность, трещиностойкость и деформативность при низких температурах за счет содержания в нем полимера;

– При добавлении пластификатора обеспечивает требуемый уровень температуры (не выше 160 °С) и значительно повышает эффективность вводимого полимера, кроме того существенно ускоряет процесс приготовления ПБВ при этом уменьшая затраты на его приготовление;

– При введении адгезионной добавки обеспечивает оптимальную связь между битумом и инертными материалами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платонов, А. П. Полимерные материалы в дорожном и аэродромном строительстве / А. П. Платонов. – Москва: Транспорт, 1994. – 157 с.

2. Бабак, О. Г. Применение модифицированных вяжущих в дорожном строительстве / О. Г. Бабак, Г. Б. Старков // Дорожная техника и технологии. – 2001. – № 5. – С. 72 – 75.

3. Балобанов, В. Г. Применение асфальтобетонов на основе пластифицированных полимерно-битумных вяжущих: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Г. Балобанов. – Улан-Удэ, 2006. – 18 с.

4. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров стирол-бутадиен-стирол. Технические условия: ГОСТ Р 52056-2003. – Введ. 2003-05-23. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ГЕОПОЛИМЕРБЕТОНОВ ОТ ДИСПЕРСИОННОГО СОСТАВА ШЛАКОВОГО КОМПОНЕНТА

Ашуров М.А. аспирант, murod_0061@mail.ru.

Филипенко П.В. магистрант, filipenkov@tyuiu.ru

Зимакова Г. А., канд. техн. наук, доцент, ga.winter@yandex.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье представлены экспериментальные данные по результатам исследования зависимости прочности геополимербетонот дисперсионного состава шлакового компонента. Дисперсионный состав установлен применением установки Analysette 22 MikroТес. Установлено, что с уменьшением размера зерен возрастает как скорость роста, так и значение достигнутой в начальные сроки твердения прочности. Оптимальная прочность бетона плотной структуры соответствует классу В55 уже в возрасте 7 суточного твердения.

Ключевые слова: шлак, геополимербетон, дисперсионный состав, алюмосиликат, прочность, плотность.

В международных исследованиях широко обсуждаются вопросы по свойствам геополимербетонот, в данную группу включают бесцементные бетоны, изготовленные на основе активированного щелочами силикат - и алюмосодержащего природного или техногенного сырья [1]. В российской практике отмечается потенциально низкая активность в данного рода исследованиях, а общая полезная утилизация отходов не превышает 25% [2]. Производство бетонов, получаемых путем щелочной активации техногенного сырья, представленного алюмосиликатами, алюмоферритами кальция является актуальным и требует развития экспериментальных исследований с целью повышения объемов утилизации промышленных отходов.

Как следует из анализа данных [1], достигаемая в экспериментальных условиях прочность геополимербетона плотной структуры соответствует классам В30-В40 и возрастает с увеличением концентрации раствора щелочного активатора, отдельные результаты исследований свидетельствуют о достижении прочности 100 МПа. В сложных системах геополимерных бетонов формирование новых фаз происходит в результате кристаллизационного, топохимического и полимеризационного механизма. В качестве параметров, определяющих прочностные показатели геополимербетона, рассматриваются [1,2,3] следующие соотношения: $\frac{SiO_2}{Al_2O_3} АСК$; $\frac{\text{щелочной активатор}}{АСК}$; $\frac{\text{вода}}{АСК}$, а также вид щелочного активатора, температура и продолжительность твердения.

Скорость и полнота процессов структурообразования бетонных композитов всегда определяется реакционной способностью вяжущего компонента, на которую существенное влияние оказывает размерность зерен. Авторами статьи доказано, что дисперсионный состав шлаков оказывает влияние на кинетику процессов структурообразования и величину достигаемой прочности.

В качестве алюмосиликатного компонента в исследованиях изучался шлак черной металлургии, на 85% состоящий из SiO_2 , Al_2O_3 и CaO . Реакционная способность шлакового компонента при прочих равных условиях, анализировалась на трех сериях.

Для исследования произведен помол шлака в лабораторной мельнице в присутствии интенсификатора - ТЭА. Для получения проб, существенно отличающихся дисперсионным составом, время помола увеличивалось таким образом, чтобы средний размер зерна после помола уменьшался в 1,4-1,5 раза. В качестве щелочного активатора использован едкий натр, концентрация которого в смеси была постоянна.

Дисперсионный состав анализировался на приборе анализаторе размера частиц Analysette 22 MikroTec.

Результаты анализа зернового состава шлаков приведены на рис.1 в форме интегральных кривых рассева.

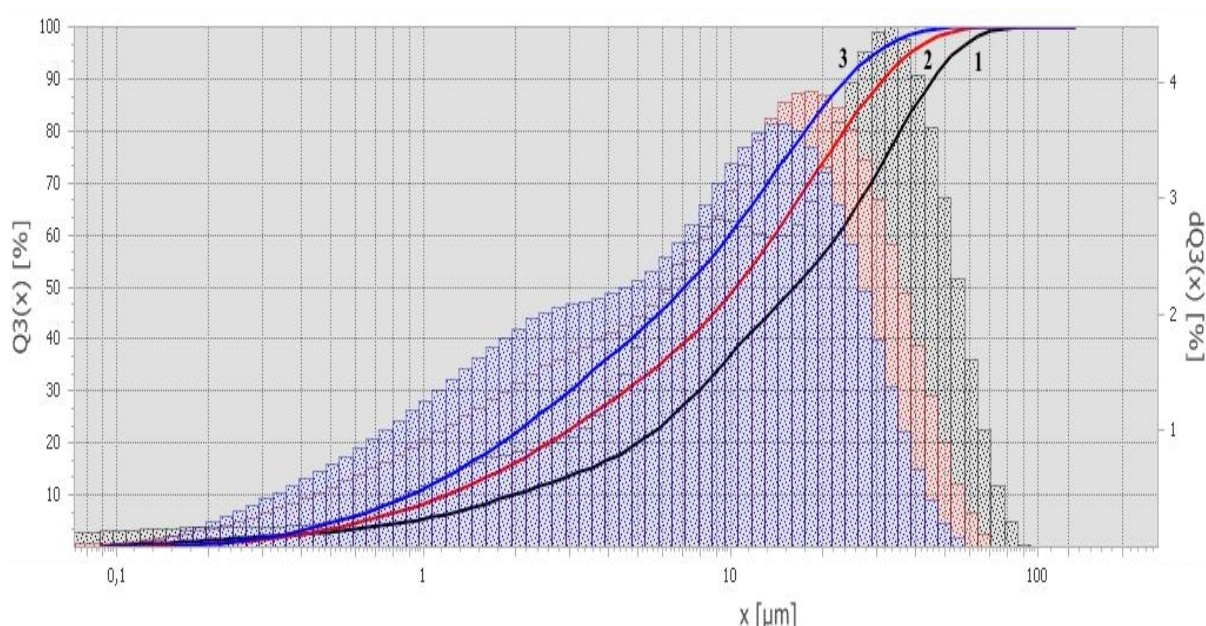


Рис. 1. Интегральные кривые зернового состава шлака: 1- Проба №1 Удельная поверхность, $285 \text{ м}^2/\text{кг}$, 2-Проба №2 Удельная поверхность, $418 \text{ м}^2/\text{кг}$, 3- Проба №3 Удельная поверхность, $574 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Анализ гранулометрического состава (рис.1) свидетельствует, что пробы 1 и 3 имеют явно выраженное соотношение двух фракций порошка, для первой пробы - это фракции 5-20 мкм и 30-70 мкм, для пробы №3 0.2-7

мкм, 8-20 мкм, проба №2 отличается непрерывной гранулометрической кривой и на 90% представлена зернами диапазона от 0.65 до 30 мкм

Приготовлены смеси плотного бетона из соответствующих проб шлака при постоянстве соотношения $\frac{\text{вода}}{\text{АСК}}$ равном 0,30. Изготовленные образцы имели форму куба, выдерживались в течении 3, 7 суток в естественной среде и подвергались испытаниям для определения прочности при сжатии. Результаты испытаний образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов

№ Пробы	Удельная поверхность м ² /кг	Средний размер частиц, мкм	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа в возрасте, сут	
				3	7
1	285	29,67	1840	31	49
				29,2	56
2	418	20,41	1950	51	59
				55,2	62
3	574	14,65	1900	40,1	57
				38,7	65

Как следует из экспериментальных данных с уменьшением размера зерен возрастает скорость роста прочности и значение достигнутой в начальные сроки твердения прочности. Повышенная плотность, отмеченная для композиции второго состава, обусловлена тем, что полифракционная система имеет лучшую уплотняемость, что коррелирует с данными исследований [4,5].

Достигаемая по экспериментальным данным прочность бетона плотной структуры состава №2 соответствует классу В55 уже в возрасте 7 суточного твердения. Таким образом доказано, что реакционная способность АСК, при прочих равных условиях, к процессам синтеза новых фаз определяется размерностью зерен и дисперсионным составом шлакового компонента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончарова, М. А. Разработка составов геополимерного бетона для конструкционного материала / М. А. Гончарова, Н. А. Матченко // Научные исследования: от теории к практике: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2015. – № 4 (5). – С. 15–18.

2. Кожухова, Н. И. Перспективы развития геополимерных вяжущих / Н. И. Кожухова, И. В. Жерновский, Е. Н. Бондарева // Исследования и инновации в вузе: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2012. – С. 499–502.

3. Калашникова, В. А. Особенности геополимерных вяжущих на основе техногенного алюмосиликатного сырья / В. А. Калашникова, И. В. Жерновский, Н. И. Кожухова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2013. – С. 54–57.

4. Матченко, Н. А. Исследование свойств геополимерного бетона с целью применения его в строительстве / Н. А. Матченко, Г. С. Дедаев, И. В. Ламов // Научное сообщество студентов: материалы VII Междунар. студенч. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2016. – С. 181–183.

5. Рахимова, Н. Р. Актуальность, состояние и перспективные направления развития исследований и производства композиционных шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов на их основе // Строительство и архитектура. Научный вестник Воронежского ГАСУ. – 2008. – № 4 (12). – С. 110-118.

УДК 691.328.5

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ФИБРОБЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Бочкарева О.С., ассистент кафедры строительных материалов,
bochkarevaos@tyuiu.ru

Каспер Е.А., доцент кафедры строительных материалов, elena-
kasper@mail.ru

Жукова В.В., магистрант, mугaveika07@gmail.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье представлена оптимизация состава фибробетона с применением полимерной фибры Ruredil X Fiber 54, модифицированного комплексной добавкой ARENA ViMix PL, на основе математического моделирования. Было установлено, что совместное введение комплексной добавки и полимерной фибры способствует повышению прочности на растяжение при раскалывании мелкозернистого бетона. Методом математического планирования эксперимента был подобран оптимальный состав фибробетона.

Ключевые слова: фибробетон, прочность на растяжение при раскалывании, оптимизация состава, математическое планирование эксперимента.

Фибробетон представляет собой сложную систему, оптимизация состава которой невозможна без привлечения методов математического планирования эксперимента. Планирование эксперимента производилось

по плану полного факторного эксперимента ПФЭ 3^k , при количестве факторов k равном 2. За основу была принята полиномиальная модель второго порядка, описывающая поверхность, образованную параболой.

В качестве факторов (входных параметров) в модели были использованы: комплексная добавка ARENA ViMix PL (D , % от расхода цемента) и полипропиленовое волокно Ruredil X Fiber 54 (μ_{fv} , %). Добавка и фибра вводились в матрицу мелкозернистого бетона.

Добавка ARENA ViMix PL представляет собой смесь микроцемента, активных минеральных наполнителей и модифицирующих добавок. Полимерная фибра Ruredil X Fiber 54 включает в себя моноволокно, изготовленное из специальной смеси полимеров, и полипропиленовое фибриллированное волокно.

В кодированных переменных комплексная добавка ARENA ViMix PL была обозначена за X_1 и определялась по формуле (1), где основной уровень был принят равным 4% добавки от расхода цемента, а интервал варьирования – 1%. А полипропиленовое волокно Ruredil X Fiber обозначалось X_2 и определялось по формуле (2), где основной уровень фибрового армирования по объему был принят равным 1,6%, а интервал варьирования – 0,5%.

$$X_1 = \frac{D-4}{1}, \quad (1)$$

где D – комплексная добавка ARENA ViMix PL, % от расхода цемента.

$$X_2 = \frac{\mu_{fv}-1,6}{0,5}, \quad (2)$$

где μ_{fv} – содержание полипропиленового волокна по объему, %.

План проведения двухфакторного эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 1

План проведения эксперимента

№ опыта	План эксперимента (X_i)		Квадрат переменных (X_i) ²		Взаимодействие $X_1 \cdot X_2$
	X_1	X_2	$(X_1)^2$	$(X_2)^2$	
1	-1	-1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1	+1	-1
3	-1	+1	+1	+1	-1
4	+1	+1	+1	+1	+1
5	0	0	0	0	0
6	0	+1	0	+1	0
7	0	-1	0	+1	0
8	+1	0	+1	0	0
9	-1	0	+1	0	0
	(01)=0	(02)=0	(11)=6	(22)=6	(12)=0

Смеси для всех опытов обладали равной подвижностью, которая определялась по глубине погружения конуса и была принята равной 5см.

В качестве выходного параметра (показателя качества) была принята прочность бетона на растяжение при раскалывании $Y_2 = R_p$, МПа.

После расчета коэффициентов регрессии и определения их значимости было получено уравнение регрессии для прочности на растяжение при раскалывании: $Y_2 = 4,03 - 0,23X_1 - 0,12X_2 + 0,28X_1^2$.

Адекватность моделей оценивалась по критерию Фишера.

При переходе от кодированных к натуральным переменным была получена зависимость: $R_p = -1,29 + 1,72D - 0,23D^2 + 2,06\mu_f - 0,48\mu_f^2$.

Поверхность отклика в трехмерном пространстве представлена на рисунке 1.

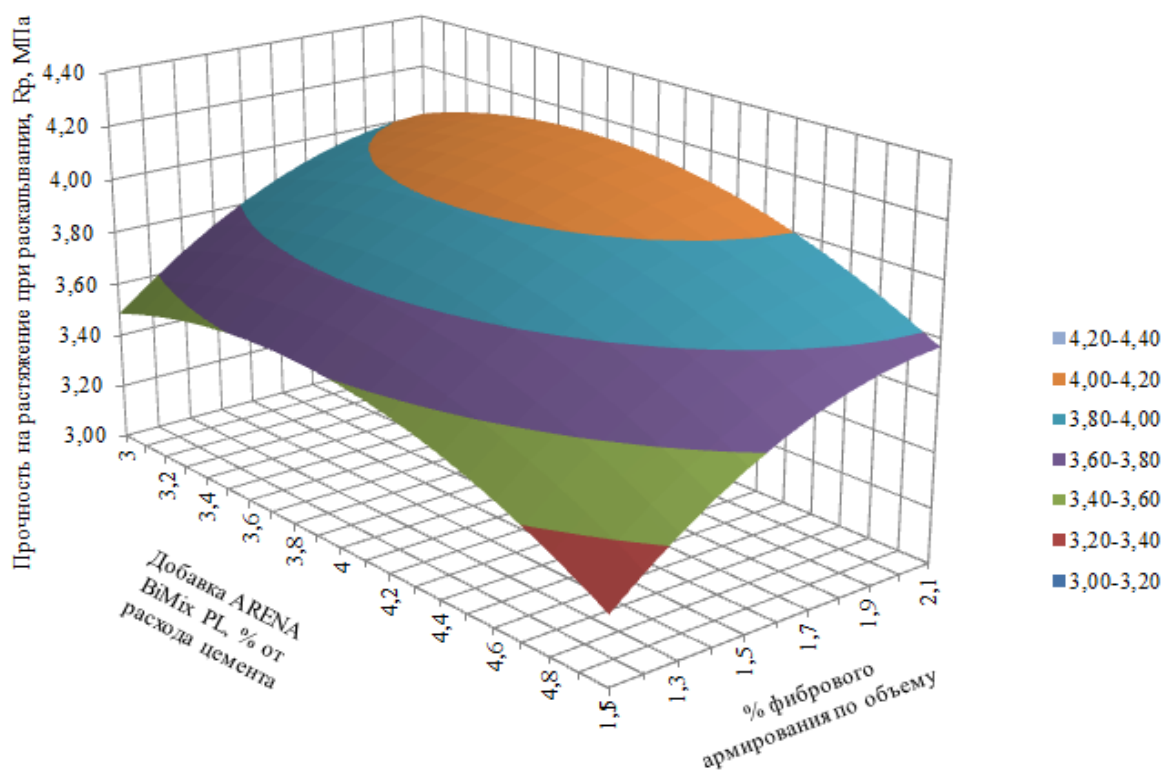


Рис. 1. Поверхность отклика, отображающая зависимость прочности на растяжение при раскалывании от содержания добавки ARENA BiMix PL и полипропиленовой фибры

Согласно полученным результатам прочность на растяжение при раскалывании варьировалась от 3,0 до 4,2 МПа, экстремальному значению прочности на растяжение при раскалывании соответствует 3,7% содержания добавки ARENA BiMix PL от расхода цемента и 2,0% фибрового армирования по объему полипропиленовой фиброй.

Таким образом, методом математического планирования эксперимента был подобран оптимальный состав мелкозернистого фибробетона с содержанием добавки ARENA BiMix PL 3,7% от расхода цемента и полипропиленовой фиброй - 2,0% по объему, что обеспечивает прочность на растяжение при раскалывании 4,2 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона / Ю. М. Баженов, В. А. Вознесенский. – Москва : Стройиздат, 1974. – 192 с.

2. Баженов, Ю. М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю. М. Баженов, Е. М. Чернышов, Д. Н. Коротких // Строительные материалы. – 2014. – № 3. – С. 6–12.

УДК 620.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОРРОЗИИ И ЗАЩИТЫ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Григорашкина Е.О., бакалавр, grigorashkina2012@mail.ru

Белов Д.А., бакалавр, neobelov@gmail.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Коррозия нефте- и газопроводов не только сокращает срок службы трубопроводов, но и может привести к серьезным инцидентам. Производство коррозионных материалов в России требует внедрения новых технологий. Поэтому исследование механизма коррозии нефтегазопроводов и улучшенных технологий защиты имеет решающее значение. В этой статье представлен механизм коррозии нефте- и газопроводов, подробно проанализирована современная технология защиты от коррозии.

Ключевые слова: срок службы, механизм коррозии, технологии защиты

Трубопроводы, в сравнении с остальными пятью видами транспорта, имеют следующие преимущества: низкая цена, высокая эффективность, короткий срок возведения, безопасность для экологии, подходит почти для любых условий. Трубопроводы для транспортировки нефти и газа чаще всего сделаны из стали и проложены под землей, где они могут подвергаться серьезной коррозии. Если трубопровод корродирует, проблемой становится не только сокращение его срока службы, но и загрязнение транспортируемого продукта, что даже более серьезно, так как может привести к возгоранию. Итак, полное и глубокое понимание механизма коррозии и антикоррозионных технологий является необходимым.

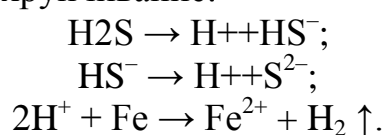
Выделяют два основных вида коррозии: внешнюю и внутреннюю, в зависимости от того, где она имеет место.

В процессе транспорта, механические примеси, содержащиеся в извлекаемой из пласта нефти, разрушают внутреннюю сторону трубопровода в потоке. Это чаще всего происходит в корродированной среде и называется эрозионной коррозией из-за того, что эрозия совмещается здесь с коррозией.

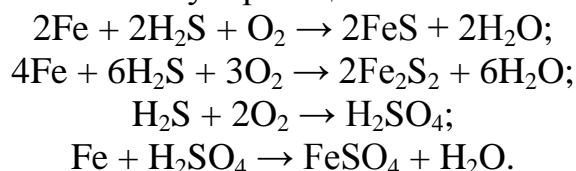
Коррозия внутренней стороны трубопровода вызвана серией химических или электрохимических реакций. Эти реакции происходят из-за контакта в процессе транспорта между внутренней стороной трубопровода и химикатами, содержащимися в нефти и газе.

Распространенными видами коррозии являются: сероводородная, углекислотная и атмосферная.

Сероводород легко распадается в воде на ионы, что вызывает коррозию и водородное охрупчивание:

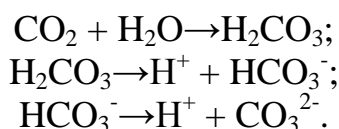


H₂S вступает в химическую реакцию с металлом в аэробной среде:

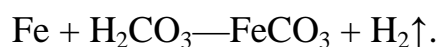


H₂SO₄, как продукт реакции металла с сероводородом, способствует химической и электрохимической коррозии.

CO₂ вызывает как общую коррозию, так и местную коррозию, что происходит более часто. Химические реакции, происходящие в ходе местной CO₂ коррозии:



H₂CO₃ способствует реакции водородной поляризации трубопровода:



SO₂ реагирует с Fe в аэробной среде с образованием FeSO₄. Далее, FeSO₄ переходит в гидролиз, продуктами которого являются оксид и свободная кислота. Свободная кислота ускоряет коррозию железа и производит свежий FeSO₄, который снова переходит в гидролиз. В результате цикла, трубопроводы серьезно корродируют.

Почвенная или другая среда реагирует со внешней стороной металлических трубопроводов электрохимически, химически и физически, нанося ему определенный ущерб. Этот ущерб называется внешней коррозией трубопровода. Почва представляет собой сложную трехфазную систему, что делает ее коррозионным агентом. Кроме того, коррозия

происходит из-за контакта трубопровода с кислородом, который существенно ускоряет этот процесс.

В настоящее время распространённым способом защиты трубопроводов от коррозии является применение защитных покрытий, что позволяет отделить его от коррозионного окружения и снизить скорость коррозии.

Трёхслойный полиэтилен, эпоксидное покрытие и покрытие из каменноугольной смолы, их основой являются органические вещества известные своей хорошей устойчивостью к коррозии и невступлением в реакцию с кислотами, поэтому они широко используются в качестве покрытий. Их достоинства и недостатки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Достоинства и недостатки органических покрытий

	Достоинства	Недостатки
Каменноугольная смола	Имеет хорошие изоляционные свойства, не легко эродируется бактериями, имеет хорошие адгезивные свойства и низкую поглотительную способность	Низкая механическая прочность и устойчивость к воздействию температур, высокая токсичность, уязвимость к трещинам в почве, требует жестких условий строительства.
Эпоксидное покрытие	Компактно, имеет хорошие адгезивные свойства, не вступает в реакцию с солями и щелочами, имеет гладкую поверхность	Легко намокает; очень хрупкое
Трёхслойный полиэтилен	Высокие адгезивные свойства, устойчивость к проколу, хорошие механические свойства и устойчивость к трещинам в почве, относительная экологичность	Дорогой и сложный в производстве; толщина не везде одинакова; температуру сложно контролировать. Поры легко формируются.

Как видно из таблицы выше, органические покрытия имеют недостатки, в независимости от того, насколько хорошо защищают от коррозии. Однако, некоторые недостатки не столь серьезны, как кажется. На сегодняшний день, эпоксидное покрытие признано как одно из лучших антикоррозионных покрытий и широко используется по всему миру.

Неорганические покрытия прекрасно показывают себя в борьбе с коррозией, а также устойчивы к износу и воздействию температур. Несколько таких покрытий уже хорошо себя зарекомендовали.

Например, цементный раствор богат щелочью, которая создает пассивную пленку внутри трубопровода и предотвращает его коррозию. Способ не токсичен, безопасен, легко применим и дешев.

Эмалевое покрытие в настоящее время считается почти идеальным материалом для защиты от коррозии. За исключением фтористоводородной кислоты, эмаль защищает от всех видов солей и кислот, кроме того, применение эмали не слишком дорого.

Керамическое покрытие отличается хорошими антикоррозионными свойствами, устойчиво к воздействию кислорода и высоких температур.

Совмещая технологии термического напыления и эмалевое покрытие, получают очень тонкое и устойчивое к коррозии покрытие – глазурное стеклянное покрытие, поверхность которого очень гладкая.

Последние три покрытия не используются широко, поскольку, относительно цементного, они сложны в изготовлении, более энергоемкие и дорогие. Кроме того, они слабо сцепляются с трубопроводом и хрупкие, поэтому могут отпадать с его поверхности.

Наиболее известными композитными покрытиями являются, покрытие на основе чешуйчатого стекла и обогащенное цинком эпоксидное покрытие. В первом случае, чешуйки стекла располагаются параллельно друг другу и покрыты пленкой, что в совокупности образует компактный непроницаемый слой, предотвращающий контакт защищаемого материала и окружающей среды. Покрытие на основе чешуйчатого стекла долговечно, хорошо защищает от химической коррозии, устойчиво к температурам. Что касается эпоксидного покрытия, обогащенного цинком, здесь принцип действия – анодная защита материала. Пока анод не разрушится, не начнет разрушаться материал. Эпоксидное покрытие, обогащённое цинком, имеет хорошую непроницаемость и антикоррозионные свойства.

Для защиты трубопровода, кроме прочего, могут применяться:

Технология ингибирования коррозии. Ингибитор изменяет свойства поверхности корродирующего металла, или предотвращает реакции между анодом и катодом, что замедляет коррозию. Даже небольшое количество ингибитора продлит срок службы трубопровода.

Электрохимические антикоррозионные технологии. Катодная защита без протекторного анода сдерживает коррозию внешней стороны трубопровода путем создания искусственного отрицательного потенциала на защищаемом объекте. Должна использоваться станция катодной защиты. Данный вид защиты подходит для самых плохих сред, однако дорог и вызывает электромагнитные помехи у металлических объектов.

Защита с помощью жертвенного анода – такой вид защиты от коррозии, когда обуславливающий коррозию процесс перенесен на вспомогательный электрод. Подходит, когда нет возможности подвода электричества. Поверхность трубопровода становится эквипотенциальной и на всех ее участках протекает только катодный процесс.

Важно улучшить производство антикоррозийных покрытий, чтобы можно было использовать новые технологии для создания большего

количества нефтегазопроводов с долгим сроком службы и более низкой стоимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томашов, Н. Д. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы : монография / Н. Д. Томашов, Г. П. Чернова. – Москва : Металлургия, 1986. – 360 с.

2. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов : учеб. пособие для студентов металлургических специальностей вузов / Н. П. Жук. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Альянс, 2006. – 472 с.

УДК 620.22

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ, МИКРОСТРУКТУРЫ И СОСТАВА СТАЛИ X80, А ТАКЖЕ ПРОЦЕССА ЕЕ СВАРКИ С ВЫСОКОЙ ПОГОННОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Григорашкина Е.О., бакалавр, grigorashkina2012@mail.ru

Белов Д.А., бакалавр, neobelov@gmail.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В этой статье представлен химический состав трубопроводной стали X80, ее микроструктура и существующие проблемы при ее сварке с высокой погонной энергией. Рассмотрено микролегирование трубопроводной стали X80 элементами Nb, Ti, V и его влияние на механические свойства. Кроме того, были исследованы причины укрупнения зерна, размягчения и охрупчивания микроструктуры в зоне термического воздействия при сварке. Для трубопроводной стали X80 мы можем видеть, что микроструктура с высокой прочностью и высокой ударной вязкостью (пластичностью) может быть получена не только за счет микролегирования, но и за счет оптимизации процесса прокатки и регулирования скорости охлаждения после горячей прокатки. Стальная труба X80 с низким содержанием углерода и соответствующим микролегированием в сочетании с современной контролируемой технологией прокатки и контролируемого охлаждения будет иметь очень высокую прочность и вязкость.

Ключевые слова: трубопроводная сталь X80, микролегирование, химический состав, микроструктура, сварка с высокой погонной энергией.

Трубопроводный транспорт является экономичным, безопасным и эффективным видом транспорта. Спрос на нефть и природный газ растет с быстрым развитием национальной экономики, поэтому спрос на трубопроводную сталь как транспортный вектор также увеличивается. Исследование и разработка трубопроводной стали проводится, чтобы

эффективно производить трубы большого диаметра, предназначенные для высокого давления, и увеличить уровень автоматизации, пропускную способность нефтегазопроводов и расстояние транспортировки.

Типичное содержание углерода в трубопроводной стали X80 составляет от 0,04% до 0,08%, однако в некоторых особых случаях содержание углерода может достигать 0,02%. При шельфовой эксплуатации в чрезвычайно неблагоприятных природных условиях, таких, как полярные, сталь X80 должна иметь низкое содержание углерода, так что сварочные работы проводятся без предварительного нагрева и термообработки после сварки. Это также может обеспечить хорошую ударную вязкость сварных соединений, предотвращающую растрескивание, вызванное соединениями серы. Однако, снижение содержания углерода неизбежно приведет к ухудшению таких механических свойств стали, как твердость и предел текучести.

Чтобы компенсировать ухудшение механических свойств, происходящее из-за снижения содержания углерода, производят микролегирование элементов Mn в трубопроводную сталь X80. Принцип в основном состоит в том, что искажение решетки, вызываемое элементом Mn, больше, чем вызываемое углеродом в трубопроводной стали, поэтому добавление Mn даст большее усиление твердости, чем углерод. Однако слишком высокое содержание Mn ускорит осевую ликвацию трубопровода X80 во время горячей прокатки. Поэтому в зависимости от различной толщины и необходимой прочности трубопровода содержание Mn, который будет добавлен в процессе микролегирования, обычно принимается от 1,1% до 2,0%.

Другими микролегирующими элементами являются сильные нитридообразующие элементы Nb, Ti, V. Их основная функция заключается в предотвращении роста зерна аустенита в процессе прокатки стальной плиты и замедлении перекристаллизации зерна аустенита в процессе прокатки стали. Nb является не только одним из основных упрочняющих элементов, но также снижает склонность стали к старению и температуру хрупко-пластичного перехода сталей. Поэтому в высокопрочные легированные стали добавляют небольшое количество Nb. Однако исследования зоны термического воздействия при сварке показали, что Nb начинает разрушаться при 1200°C, происходит укрупнение зерна аустенита и при 1300-1400°C Nb разрушается почти полностью, что приводит к значительному укрупнению зерна аустенита. Таким образом, высокопрочной микролегированной стали, если в ее составе использован только Nb, трудно выдержать сварку с высокой погонной энергией.

По этой причине изучают микролегирование высокопрочных легированных сталей элементами Nb и Ti. Добавленный в сталь Ti может образовывать стабильные нитриды, такие как TiN, на пиковых температурах сварки. Образовавшийся в зоне термического воздействия

TiN может предотвратить огрубление аустенита, ускорить образование игольчатого феррита, улучшить прочность и ударную вязкость зоны термического воздействия. Как и Ti, V является одним из основных упрочняющих элементов из стали. Однако температура перехода сталей, содержащих V, обычно выше, чем у стали, содержащей Nb и Ti. Так что V, как микролидирующий элемент, обычно не добавляется в сталь сам по себе, но используется одновременно с Nb и Ti. При добавлении V образуется VN. Межфазная энергия между VN и ферритом низкая, что способствует образованию игольчатого феррита и измельчению зерна. Это может улучшить механические свойства стали.

Для обеспечения того, чтобы содержание примесей и газов находилось на сверхнизком уровне, разработаны современные металлургические технологии - предварительная горячая обработка, внепечная металлургия, непрерывное литье и др. В таблицах 1 и 2 представлен типичный химический состав и механические свойства трубопроводной стали X80, произведенной по новым технологиям. Из таблицы 2 видно, что сталь сделана высокопрочной и высоковязкой несмотря на низкое содержание углерода. Это достигнуто выбором правильного количества микролегирующих элементов в совокупности с контролируемой технологией прокатки и контролируемым охлаждением. При традиционном легировании стали с горячей прокаткой достичь такого результата невозможно.

Таблица 1

Типичный химический состав стали X80

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
<0.09	<0.42	<1.85	<0.022	<0.005	<0.45	<0.35	<0.50
V	Ti	Cu	B	Al	N	V+Nb+Ti	Nb
<0.06	<0.025	<0.30	<0.0005	<0.06	<0.008	<0.15	<0.11

Таблица 2

Механические свойства трубопроводной стали X80

Прочность при растяжении				Ударная вязкость по Шарпи		Ударные испытания на разрыв
σ_B , МПа	$\sigma_{0.5}$, МПа	δ , %	σ_B/σ_T	A_{kv} , Дж	SA, %	SA, %
625..825	555..690	≥ 16	≤ 0.93	≥ 240	≥ 90	≥ 85

На Рис. 1 показана микроструктура стальной трубы X80. Эта микроструктура получается контролируемым прокатом и ускоренным охлаждением. Микроструктура стальных труб X80 представляет собой многоугольный феррит и игольчатый феррит. Трубопроводная сталь X80, получаемая в общем виде посредством контролируемой прокатки и охлаждения, имеет высокую ударную вязкость и прочность. Причина в

том, что ферритовая микроструктура имеет высокую плотность дислокаций. Кроме того, скорость охлаждения после горячей прокатки имеет значительное влияние на микроструктуру и механические свойства стали трубопровода X80. Когда скорость охлаждения ниже, происходит превращение гранулированного бейнита и образуются упрочняющие фазы.



Рис. 1. Микроструктура стали X80

Когда скорость охлаждения выше, появляется эффект упрочнения зерна. С увеличением скорости охлаждения после прокатки твердость материалов увеличивается. Для стальной трубы X80 мы можем видеть, что микроструктура с высокой прочностью и высокой ударной вязкостью может быть получена не только микролегированием, но и также путем оптимизации процесса прокатки и регулированием скорости охлаждения после горячей прокатки.

Выводы:

Для стальной трубы X80 мы можем видеть, что микроструктура с высокой прочностью и высокой ударной вязкостью (пластичностью) может быть получена не только за счет микролегирования, но и за счет оптимизации процесса прокатки и регулирования скорости охлаждения после горячей прокатки.

Сталь трубопровода X80 с низким содержанием углерода и соответствующем микролегированием в сочетании с современной контролируемой технологией прокатки и контролируемым охлаждением имеет очень высокую прочность и ударную вязкость (пластичность). Были представлены соответствующие решения проблем размягчения и охрупчивания микроструктуры в процессе сварки с высокой погонной энергией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение : учебник для втузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Полянский, Р. П. Трубы для нефтяной и газовой промышленности за рубежом / Р. П. Полянский, В. И. Пастернак. – Москва : Недра, 1979. – 216 с.
3. Оботуров, В. И. Сварка стальных трубопроводов / В. И. Оботуров. – Москва : Стройиздат, 1991. – 288 с.

УДК 620.22

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНОЙ ПЛЕНКИ В ПРОЦЕССЕ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ ТРУБОПРОВОДА МАРКИ Х65

Григорашкина Е.О., бакалавр, grigorashkina2012@mail.ru
Белов Д.А., бакалавр, neobelov@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Электрохимические методы, рентгеновская дифракция и растровый электронный микроскоп были применены для изучения коррозионного поведения стали Х65 в спокойном растворе с углекислым газом при 65 °С. Результаты показывают, что карбонат железа, как коррозионный продукт, образует на поверхности стали отложения. Эти отложения действуют как препятствие для углекислотной коррозии и могут снизить общую скорость коррозии. Защитная способность отложений тесно связана с их морфологическими характеристиками. В настоящей работе исследовался механизм процесса формирования пленки в зависимости от времени для углекислотной коррозии.

Ключевые слова: углекислотная коррозия; защитная пленка; карбонат железа.

Углекислотная коррозия углеродистой стали является распространенной и очень серьезной проблемой в нефтяной промышленности, часто приводящей к серьезному повреждению труб и оборудования. Ее изучение начали с 1940-х годов.

Дешевые углеродистые стали часто используются в качестве конструкционного материала на нефтедобывающих и сборочных объектах. Однако они очень подвержены коррозии в средах CO_2 . Степень коррозии зависит от таких факторов, как температура, парциальное давление CO_2 , состав агрессивного раствора, соотношение газ-жидкость, соотношение вода-масло, рН, расход и характеристики материала. В подходящих

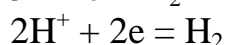
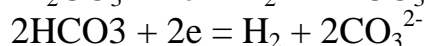
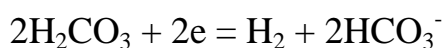
условиях коррозионные продукты могут образовывать отложения на корродирующей поверхности. В зависимости от морфологии этих отложений, скорость коррозии углеродистых сталей может быть существенно меняться. Исследование морфологических характеристик отложений могло бы облегчить борьбу со сложной углекислотной коррозией. Химический состав стали X65, используемый в этой статье, составляет С - 0,04%, Si - 0,2%, Mn - 1,5% и Мо - 0,02%. После очистки и полировки образцы помещали в спокойный раствор в автоклав с давлением CO₂ в 1 МПа. Раствор имел состав 2568 мг/л Na⁺ (K⁺), 64 мг/л Ca²⁺, 78 мг/л Mg²⁺, 3580 мг/л Cl⁻, 48 мг/л SO₄²⁻ и 863 мг/л HCO₃⁻. Газ CO₂ оставляли пузырьками в растворе для удаления кислорода. Раствор нагревали до 65°C, что является условием формирования защитной коррозионной пленки, и оставляли на 6, 12, 24, 48, 72 и 240 часов.

Настоящая работа была сосредоточена на изучении характеристик отложений продуктов углекислотной коррозии, взаимосвязи между ними и необходимой защиты углеродистых сталей при их производстве для различных условий окружающей среды.

Электрохимическая импедансная спектроскопия (ЭИС) является источником полезной информации о защитных способностях и электрохимических свойствах коррозионных отложений. Она была выполнена в разное время во всех тестах. Во время ЭИС использовали частоты между 100 кГц и 10^{^(-2)} Гц. После каждого испытания регистрировались потери массы образца и вычислялись средние скорости коррозии. Образцы заключали в эпоксидную смолу и исследовали с помощью растрового электронного микроскопа для определения морфологии отложений в каждом состоянии. Определение состава отложений проводили с помощью рентгеновской дифракции на нескольких образцах. В качестве раствора для удаления пленки коррозионной продукции использована смесь HCl + Sb₂O₃ + SnCl₂.

Возможный механизм CO₂-коррозии и различные этапы процесса коррозии CO₂ на сегодняшний день относительно изучены. Ясно, что три вещества (H⁺, HCO₃⁻ и H₂CO₃) участвуют в реакции восстановления на поверхности металла и способствуют коррозии. Электрохимические реакции в углекислотной коррозии:

Катод:



Анод:



Исследование образцов растровым микроскопом показало три основных типа отложений. Образец в разрезе имеет три слоя: наружный, пористый средний слой и компактный внутренний слой. Наружный слой

состоит из кристаллов кубической формы. Средний слой представляет собой дендритные отложения. На Рис.1 показаны морфологии отложений во время испытаний. Было замечено, что отложения в виде кристаллов кубической формы появляются по прошествии, как минимум, 48 часов. Наружный слой уменьшается обратно пропорционально времени коррозии. Отложения, появившиеся на стали в разные периоды коррозии, были изучены с использованием рентгеноструктурного анализа. На рис.2 показаны рентгенограммы структурных слоев шести образцов с различным временем коррозии. Сравнение графиков рентгеновской дифракции и растрового микроскопа показывает, что до 24 ч происходит формирование поверхностных разрушений. Из рис.3 видно, что скорость коррозии, как правило, уменьшается со временем. На рис. 4 показано изменение ЭИС с увеличением времени коррозии. При инкунальном состоянии в импедансной спектроскопии возникли две временные константы: емкостная дуга на высокой частоте, индуктивная дуга на низкой частоте. В процессе коррозии, индуктивная дуга сжимается, а емкостная дуга в низкой частоте расширяется. Спектры импеданса далее характеризуются двумя емкостными дугами. В конце на емкостную дугу на низкой частоте накладывается характерный диффузионный эффект импеданса Варбурга.

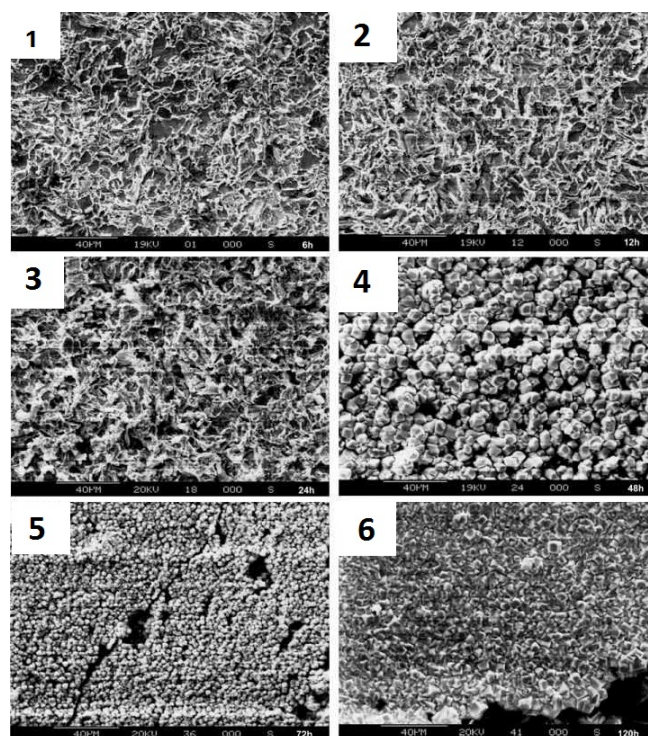


Рис. 1. Морфология поверхности отложений коррозионного продукта в разные периоды времени (65 °С, 1 МПа): 1- 6 часов, 2- 12 ч, 3- 24 часа, 4- 48 часов, 5- 72 часа, 6- 120 ч

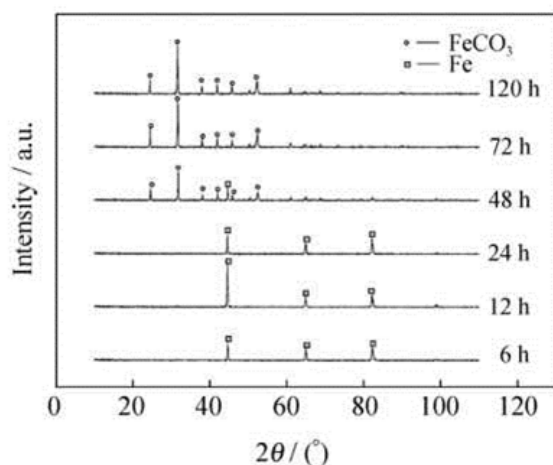


Рис. 2. Рентгенограммы структур коррозионных отложений, сформированных в разные периоды времени

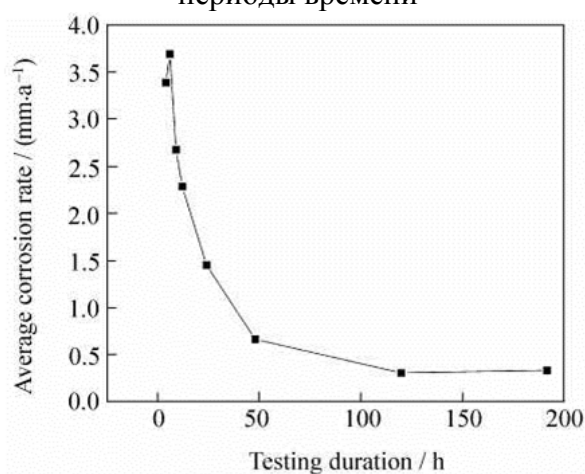


Рис. 3. Измерения потерь веса образца

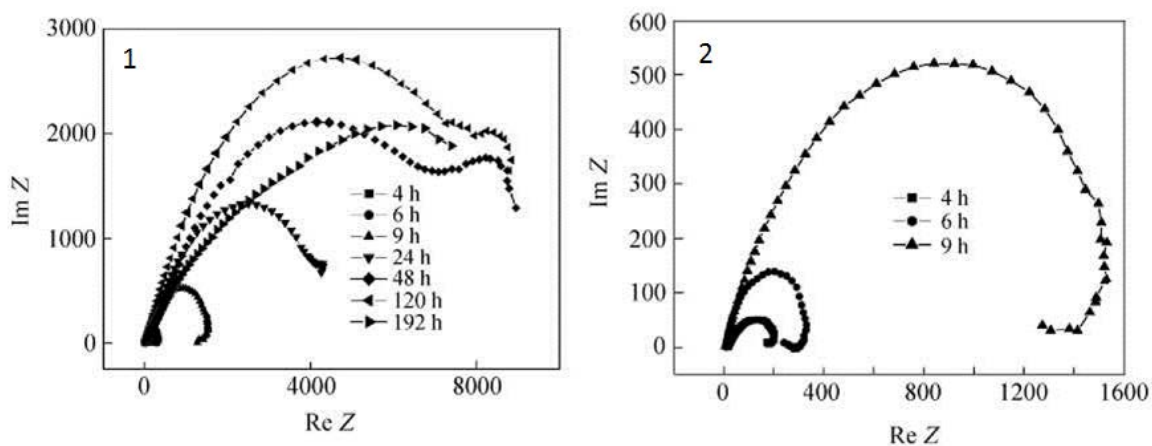


Рис. 4. Графики ЭИС, записанные на предварительно прокаленных электродах, распаянные по соответствующим автоклавам: 1 - в течение 4 ч, 6 ч, 9 ч, 24 ч, 48 ч, 120 ч и 192 ч при 1 МПа CO₂ и 65 °С, 2 - в течение 4 ч, 6 ч и 9 ч

Защитные коррозионные отложения на наружном слое, состоящие из компактных кубических кристаллов, образуются до перенасыщения ионами Fe²⁺ и CO₃²⁻ и превышения предела растворимости. Далее образуются средние защитные отложения с дендритной структурой

скелета, которые могут вызывать внутреннее напряжение, приводящее к растрескиванию наружного защитного слоя. Наконец, при формировании компактного внутреннего слоя процесс углекислотной коррозии сначала замедляется, а потом прекращается, когда защитная пленка полностью сформирована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркин, А. Н. CO₂ - коррозия нефтепромыслового оборудования : производственно-практическое издание / А. Н. Маркин, Р. Э. Низамов. – Москва : ВНИИОЭНГ, 2003. – 188 с.

2. Никифоров, В. М. Краткий курс технологии металлов : учебное пособие для ссузов / В. М. Никифоров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Машгиз, 1963. – 368 с.

УДК 691

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Зелик Д.И., бакалавр, zelik.darya@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Статья затрагивает проблему сбережения энергоресурсов путем уменьшения энергозатрат на отопление помещений за счет использования более эффективного утеплителя при строительстве новых, а также реконструкции существующих жилых и общественных зданий. В публикации рассмотрено несколько разновидностей современных теплоизоляционных материалов, приведено сравнение некоторых характеристик этих материалов, а также рациональность их применения.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, современные теплоизоляционные материалы, жидкая теплоизоляция, Пластмигран, теплолен, вакуумная теплоизоляция, Мультипор.

В условиях экономического кризиса снижение потребления энергоресурсов должно стать приоритетным направлением в развитии страны. Это обусловлено тем, что за счет относительно простых мер, возможно понижение финансовой нагрузки на бюджет, а также повышения конкурентной способности экономики.

Для современной России вопрос снижения энергопотребления является крайне актуальным, поскольку энергоемкость нашей страны намного выше, нежели у других развитых стран. Известно, что основные резервы для возможной экономии энергетических ресурсов находятся в

уже построенных как жилых, так и общественных зданиях, которые потребляют порядка 40% от всех первичных ресурсов. Государству известна эта проблема и в соответствии с Федеральным законом от 23.11.2009 № 261-ФЗ, ст.11 установлены требования к энергетической эффективности зданий, строений и сооружений [1].

Одним из наиболее очевидных способов повышения класса энергоэффективности здания является уменьшение затрат на обогрев помещений путем улучшения тепловой эффективности ограждающих конструкций. В настоящее время существует огромное множество различных видов утеплителей как в сыпучем (опилки, эковата), так и в твердом (ДСП, пенополистирол), представленные различными производителями. Для поддержания своей конкурентоспособности, им необходимо совершенствовать уже изготавливаемые материалы, а также изобретать новые, имеющие улучшенные тепловые характеристики. Рассмотрим наиболее современные, но постепенно обретающие популярность на современном рынке, теплоизоляционные материалы.

В последнее время большой популярностью стала пользоваться жидкая теплоизоляция, которая выпускается разными фирмами и, как следствие, имеют различные торговые наименования, но в целом их можно разделить на теплокраски и жидкую керамическую теплоизоляцию. Выпускается этот материал в виде белой вязкой суспензии, который наносят кистью, валиком или при помощи распылителя. Конечным результатом будет являться тонкое, гибкое, но при этом прочное полимерное покрытие [2]. Однозначным преимуществом такого материала является то, что он обладает отличной адгезией и его можно наносить на любые поверхности и в труднодоступные места, а после обработки его можно покрыть финишным слоем: обоями или фасадной облицовкой. Кроме того, жидкие утеплители стойки к коррозии, образованию грибков. Недостатком такого вида утеплителя является его дороговизна, однако, с развитием и большим распространением, жидкая теплоизоляция станет более доступной.

Пластмигран – это совершенно новый материал, получаемый при смешении минеральной ваты и полистирольной пыли, которые помещаются в специальный перфорированный модуль, где продуваются паром под высоким давлением [3]. Это достаточно экологичный материал, ввиду отсутствия химических добавок. Тем не менее, адгезионная характеристика Пластмиграна невысока и для лучшего сцепления с поверхностью, требуется предварительное обезжиривание поверхности специальными химическими составами. Кроме того, для его производства требуется дорогое оборудование, которое ведет к первоначальному удорожанию конечного продукта. Несмотря на недостатки, Пластмигран имеет и достоинства, к которым относится прочность,

водонепроницаемость и огнестойкость. Однако производство Пластмигранта не налажено в промышленных масштабах.

Теплолен не является новым или инновационным видом утеплителя в мире, однако, он малознаком российскому покупателю. Этот материал создается на основе волокон льна, а для придания материалу возможности держать форму добавляют термоскрепляющее волокно [3]. Теплоизоляция такого типа является хорошим звукоизолятором, а по тепловым характеристикам схожа с минеральной ватой. Она экологична, способна регулировать влагообмен, что предполагает отсутствие пароизоляции, а также обладает антисептическими и бактерицидными свойствами. Данный материал рекомендуется применять при строительстве домов из бруса или оцилиндрованного дерева. К недостаткам следует отнести высокую стоимость и подверженность горению.

Вакуумная теплоизоляция в строительство пришла из космостроения. Вакуумные теплоизоляционные панели обладают высокой изоляционной способностью – созданный вакуум внутри панели почти исключает транспортировку тепла [4]. Теплопроводность ВИП примерно в 4-6 раз ниже, по сравнению с традиционными строительными утеплителями (1 см панели соответствует 5 см минеральной ваты). Срок службы панели достигает 50 лет.

На сегодняшний день это наиболее эффективный, но самый дорогой вид теплоизоляции. Кроме того, его очень сложно монтировать и при малейшем нарушении герметичности панели она вся приходит в негодность. Наиболее рациональной областью применения таких панелей является изготовление дверей, утепление конструкций условиях ограниченного пространства.

Еще один вид теплоизоляции – Мультипор. Его состав схож с составом газобетонных блоков, но с меньшей плотностью. В него входит песок, цемент, негашеная известь, гипсовый ангидрид, алюминий, а для затворения используется вода. Производству утеплителя характерно экономичное использование материалов: из 1 м³ природных компонентов получается около 5 м³ готового утеплителя. Материал обладает одинаковыми в трех направлениях тепловыми характеристиками, это хороший звукоизолятор и паропроницатель, но при этом он абсорбирует влагу внутри себя и при повышении температуры она просто испаряется в окружающую среду, а также материал пожаробезопасен и при действии огня не выделяет вредных веществ. Главнейшим недостатком является то, что Мультипор производится только на территории Германии, а импорт в другие страны ведет к удорожанию продукта [5].

Для оценки и сравнения представленных материалов сведем некоторые их характеристики в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики материалов

Характеристика	Жидкая гидроизоляция	Пластмигран	Теплолен	Вакуумная теплоизоляция	Мультипор
Стоимость	860 руб/м ² покрытия	Очень дорогой, нет в свободной продаже	270 руб/м ²	100 долл/м ²	2500 руб/м ²
Теплопроводность, Вт/(м · °С)	0,001	Ниже, чем у пенополистирола и минеральной ваты	0,0389	0,007	0.045
Область применения	Трубы, любые поверхности и зданий	Стены, потолки, полы	Стены, потолки преимущественно домов из натурального бруса	Ровные поверхности, при ограниченном пространстве для утеплителя	Стены, потолки, полы
Экологичность	Безопасен для человека, содержит вредные вещества в малых количествах	Абсолютно экологичен	Безопасен для человека, содержит вредные вещества в малых количествах	Абсолютно экологичен	Абсолютно экологичен
Срок службы	10-15 лет	Не определен	От 70 лет	50-80 лет	Не ограничен
Страна производитель	Россия, страны СНГ	Не определена	Россия/Беларусь	Франция, Китай, Америка	Германия

В заключении следует отметить, что мир технологий и изобретений в области теплоизоляционных материалов не стоит на месте, однако, большинство инноваций не получают широкого распространения ввиду своей дороговизны, сложности изготовления или монтажа, а покупатель обычно стремится к приобретению качественного товара, но с минимальными затратами [6]. И, как следствие, для повышения энергоэффективности зданий следует искать более традиционные, экономичные и широко распространённые способы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.08.2018) : офиц. текст. – Москва, 2018. – 52 с.
2. Дружинина, Т. Я. Актуальность применения жидкой сверхтонкой теплоизоляции в строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских объектов / Т. Я. Дружинина, А. А. Копылова // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 2 (73) – С. 103-110.
3. Флексихит [Электронный ресурс] // Инф. сайт – Режим доступа: <http://blog.flexyheat.ru/innovacionnye-utepliteli-novinki-rynka-teploizolyacionnykh-materialov/>.
4. Vacuum insulated panel [Электронный ресурс] // Википедия - Свободная энциклопедия. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_insulated_panel.
5. Multipor insulation guide [Электронный ресурс] // Руководство по эксплуатации. – Режим доступа: https://www.ytong.si/si/docs/Multipor_Insulation_guide_2018.pdf.
6. Матыс, Е. Г. Влияние качества и цены строительных материалов на стоимость строительства / Е. Г. Матыс // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2016. - Т. 2 – С. 32-34.

УДК 691

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЕВРОПЕЛИТОВОЙ ПОРОДЫ НА СВОЙСТВА СИЛИКАТНОГО БЕТОНА

Зимакова Г.А., канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой,
zimakovaga@tyuiu.ru
Рюпина Е.А., магистрант, katura.yurina.95@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Статья содержит результаты исследования влияния алевропелитов Тюменской области на свойства силикатного бетона автоклавного твердения. По результатам исследования выявлено, что введение алевропелитовых пород в силикатную массу увеличивает плотность и прочность образцов из силикатного бетона, а так же положительно влияет на кинетику твердения.

Ключевые слова: силикатный бетон, силикатный кирпич, алевропелитовая порода, кинетика твердения, физико – механические свойства.

Объем производства силикатного кирпича в России за последние годы снизился [1]. Это связано с тем, что рынок силикатных изделий стал весьма насыщенным, с высоким уровнем конкуренции, подталкивающей предприятия отрасли к постоянному повышению качества выпускаемой продукции, что требует от производителей перехода на новые технологии и внедрения различных инноваций.

Силикатный кирпич является высокоэффективным и недорогим строительным материалом. Высокая прочность (до М300) и морозостойкость (наибольшая марка по морозостойкости согласно ГОСТ 379 - 2015 F100)[2], хорошая звукоизоляция за счет высокой удельной прочности, экологичность в комплексе с недорогой стоимостью за счет доступности сырьевых материалов и отсутствием в технологическом процессе энергоемких операций дает перспективный материал с возможностью внедрения различных инновационных технологий.

Дальнейшее развитие промышленности силикатного кирпича, увеличение его выпуска может способствовать доступности строительства индивидуального жилья не на словах, а на деле. Важным аргументом является наличие сырьевой базы для производства силикатного кирпича практически повсеместно. Кроме природного песка и известняка имеется возможность широкого использования минеральных отходов промышленности – металлургии, отходов обогащения многих руд, попутных пород и др. [3].

Существуют и негативные стороны применения силикатного кирпича при возведении зданий – это недостаточная долговечность материала, за счет не высокой стойкости во влажных условиях эксплуатации. Прочность кирпича растет до связывания основного количества извести. В дальнейшем свободная известь, образуя растворимые соединения, вымывается из материала с осадками. Кирпич начинает терять физико-механические свойства, а затем разрушается. Следовательно, необходимо применить такой компонент сырьевой смеси, благодаря которому произойдет полнота реакций синтезообразования.

Алевропелитовая порода представляет собой материал с размерами зерен от 0,15 до 50 мкм, содержание зерен до 15 мкм около 40%, содержание зерен более 30 мкм около 10%.

Химический состав материала представлен, %: SiO_2 – 71,4 – 76,6; Al_2O_3 – 11,3 – 14,3; Na_2O – 1,0 – 2,0; K_2O – 1,0 – 2,0; Fe_2O_3 – 2,5 – 3,5; MgO – до 1,5; CaO – 0,7 – 0,8.

Гранулометрический состав силикатного бетона традиционный и с алевропелитовой породой представлен на Рис.1 и Рис.2.

Гранулометрический состав силикатной массы с алевропелитовой породой показывает, что при введении породы с размерами зерен от 0,15

до 50 мкм достигается наибольшее приближение кривой рассева к оптимальной. В этом случае обеспечивается наиболее плотная упаковка зёрен.

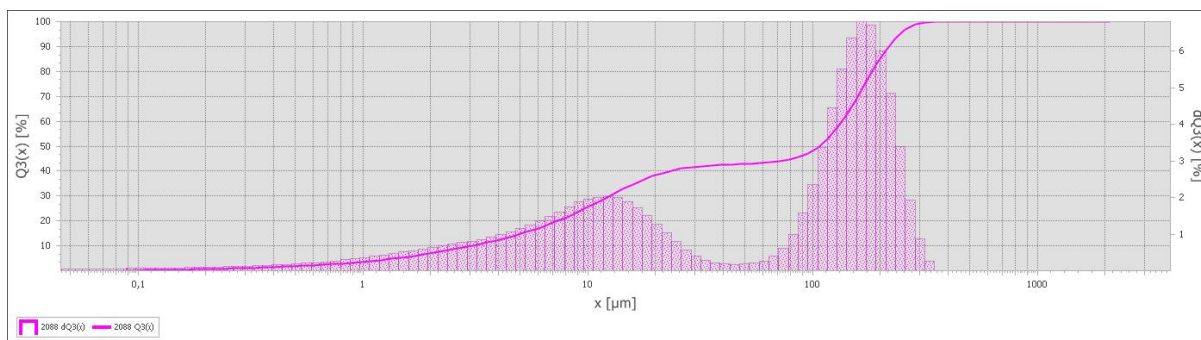


Рис.1. Гранулометрический состав силикатной массы (ИКВ + кварцевый песок + вода)

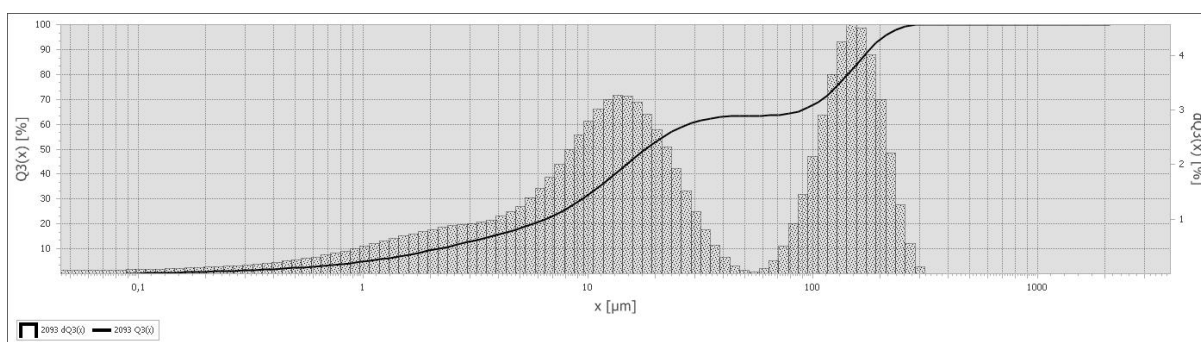


Рис.2. Гранулометрической состав силикатной массы с алевропелитовой породой (18% от массы заполнителей)

Исследования построены на сравнении физико – механических свойств ряда образцов, изготовленных из известково – кремнеземистого вяжущего, полученного в промышленных условиях путем совместного помола извести и кварцевого песка, кремнеземистого компонента. Влияние алевропелитовой породы установлено путем варьирования содержания ее в сырьевой смеси.

Результаты исследования представлены в Табл.1.

Таблица 1

Влияние алевропелитовой породы на плотность и прочность силикатного бетона

№ состава	Содержание ИКВ, %	Содержание породы, %	Плотность образцов, кг/м ³	Прочность при сжатии образцов, МПа
Контрольный	20	0	1843	24,8
1	20	10	1971	23,5
2	20	20	1961	23,8
3	20	30	1928	29,9
4	21	20	1947	24,9
5	22	20	1936	19,8

Результаты исследования показали влияние алевропелитовой породы на плотность и прочность образцов из силикатного бетона. Оптимальным принят состав №3, так как достигнута максимальная прочность при сжатии и оптимальная плотность образцов. Плотность, по сравнению с контрольным составом, выросла на 5%, а прочность при сжатии на 20%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов, А. А. Текущее состояние и тенденции развития промышленности строительных материалов / А. А. Семёнов // Строительные материалы. – 2012. – № 2. – С. 23-43.

2. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия : ГОСТ 379–2015: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 30.01.2015 : ввод. в действие с 01.10.2015. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 22 с.

3. Хвостенков, С. И. Актуальные проблемы производства и применения силикатного кирпича в России / С. И. Хвостенков // Строительные материалы. – 2008. - № 11. – С. 13-17.

УДК 691.3

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ БЕТОНЫ ПЛОТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Зимакова Г. А., канд. техн. наук, доцент, zimakovaga@tyuiu.ru.

Алимпиева А. В., магистрант, AlimpievaAleksandra@yandex.ru.

Беспалова Н. Н., специалист 1 категории, bespalovann@tyuiu.ru.

Степанова Ж. Н., магистрант, stepanova017201@mail.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Создание новой группы реакционно-порошковых бетонов с использованием маршалитов или тонкодисперсного кварца. В качестве тонкодисперсного наполнителя в бетон впервые апробируется использование алевропелитовых пород Ишимской свиты юга Тюменской области. Получен 8 компонентный бетон, который характеризуется высокой прочностью, низкой капиллярной пористостью, водопоглощение не превышает 0.5%, и как следствие высокой водонепроницаемостью.

Ключевые слова: цементный бетон, долговечность, коррозия, алевропелитовые породы.

В настоящее время преобладающим материалом для строительства автомобильных дорог с твердым покрытием является асфальтобетон, имеющий неудовлетворительную трещиностойкость, недостаточную морозо- и теплоустойчивость, выраженную колейность, и ограниченную

долговечность. В мировой практике широко применяют дорожные покрытия на основе цементных бетонов, что обосновано следующими факторами: стоимость материальных ресурсов асфальтовой и бетонной трассы практически равна; планируемый срок эксплуатации асфальтового покрытия 12-14 лет, бетонного – 25 лет. [1]

По сочетанию факторов агрессивности окружающей среды на железобетонные конструкции транспортных сооружений эксплуатационные условия относят к третьей категории коррозионного воздействия. Стандарт СЭВ СТ4419 понятие «коррозия» определяет, как процесс необратимого ухудшения технических характеристик бетона в результате физико-химического, химического, биологического воздействия внешней среды и химических процессов, протекающих в самом материале.

Долговечность конструкций и их элементов определяются совершенством проектных решений, правильным выбором материалов с учётом условий эксплуатации, качественным исполнением технологии производства строительно-монтажных работ, т.е. минимизации последствий коррозии строительных конструкций на всех стадиях проектирования, строительства, эксплуатации. [2]

В современных условиях повышение качества бетона реализуется за счет целого комплекса добавок: микронаполнителей, эффективных пластификаторов, минеральных добавок пуццоланового механизма действия. В научно-технической литературе и патентных разработках приводятся сведения о создании новой группы реакционно-порошковых бетонов с использованием маршалитов или тонкодисперсного кварца. Подобные технологические решения имеют значимый научный потенциал и практическую ценность. В качестве тонкодисперсного наполнителя в бетон впервые апробируется использование алевропелитовых пород Ишимской свиты юга Тюменской области.

Алевропелитовая порода (АПП) – природный материал с размерами зерен от 0,15 до 50 мкм, содержание зерен размером до 15 мкм в среднем составляет 40%, зерен размером более 30 мкм - 10-12%. На Рис. 1а приведены данные по зерновому составу породы, характерные особенности формы зерен отражены на Рис. 1б.

Минеральный состав породы в основном представлен кварцем, натриево-калиевыми полевыми шпатами, незначительным количеством галлуазита.

Модифицирующие компоненты бетона: - орисил (ОР), аморфный диоксид кремния с размером частиц от 5 до 40 нм; - HeroCrete С, ГП добавка на базе нового поколения поликарбоксилатных эфиров; триэтаноламин.

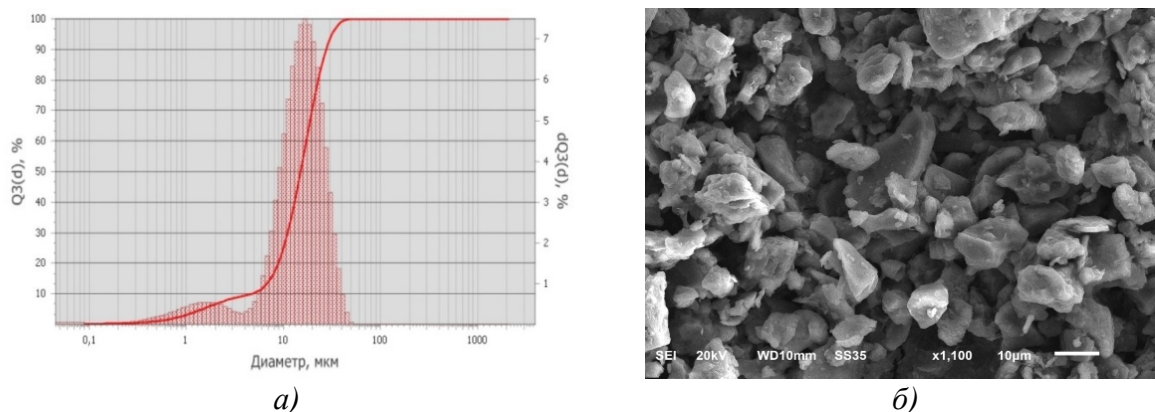


Рис. 1. Результаты исследования алевропелитовой породы:
а) гранулометрический состав; б) форма зерен

На первом этапе исследований изучено влияние модифицирующих компонентов на реологические характеристики цементного теста и бетонной смеси, установлены оптимальные дозировки. Влияние на прочность цементного камня в различные сроки твердения представлено в таблице 1

Таблица 1

Прочность цементного камня при сжатии

Образцы	Содержание цемента, %	Прочность при сжатии, МПа	
		7 сут	28 сут
Контрольный	100	48	75
Алевропелитовая порода 15%	85	40	57
Алевропелитовая порода 20%	80	60	58
Аморфный кремнезем 0,5%	100	64	72
Аморфный кремнезем 1%	100	64	71
Аморфный кремнезем 1,5%	100	67	76

По результатам первого этапа исследований установлены оптимальные дозировки компонентов, состав бетонной смеси на экспериментальный замес отражен в таблице 2.

Таблица 2

Состав и свойства бетона экспериментального замеса

№	Расход материалов, г/бл						Плотность, кг/м ³	Прочность, R _{сж} , МПа, в возрасте	
	Ц	В	П	Щ	АПП	ОР		7	21
1	630	315	1095	1620	-	-	2470	37	50
2	573,3	305	1095	1620	56,7	-	2490	32	40,2
3	630	320	1038,3	1620	56,7	-	2530	29	39,8
4	630	320	1095	1620	-	3,15	2490	30	44,7
5	573,3	315	1095	1620	56,7	2,9	2530	27	39,6

По результатам испытаний для 5 состава диагностирована наиболее однородная структура, так же он отвечает заданным требованиям по

плотности и прочности, но при этом снижен расход цемента. Исследование влияния гиперпластификатора и ТЭА проведено на этом составе.

Таблица 3

Результаты испытания многокомпонентного бетона

№	Плотность, кг/м ³	Прочность, R _{сж} , МПа		Марка по водонепроницаемости	Водопоглощение, %
		7 сут	21 сут		
1	2495	50,4	64,5	18	0,5
2	2455	53,7	69,4	18	0,35

Прочность при растяжении образцов была определена методом раскалывания и был получен класс бетона на растяжение В₁₄.

Таким образом, получен 8 компонентный бетон, который характеризуется высокой прочностью, низкой капиллярной пористостью, водопоглощение не превышает 0.5%, и как следствие высокой водонепроницаемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков, В. В Напряженно-деформированное состояние дорожных плит в процессе производства и эксплуатации в условиях Западной Сибири / В. В. Бабков, Р. А. Юмагулов, Р. С. Кильдибаев // Инженерно-строительный журнал. - 2015. - № 7 (59) - С. 39–49.

2. Новоселов, А. А. Литолого-петрографическая характеристика алевропелитовых отложений ишимской свиты западной части Тобол-Ишимского междуречья / А. А. Новоселов // Георесурсы. - 2016. - Т. 18, № 3. Ч. 2. - С. 206-211.

УДК 691.542

ОПТИМИЗИРОВАННАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Зимакова Г.А., канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
строительных материалов, zimakovaga@tyuiu.ru.

Улихина А.В., магистрант, dafnay@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Разработана эффективная технология производства цемента, за счет внедрения передовых технологий. Удалось на 90% снизить энергозатраты, за счет грамотного подбора оборудования.

Ключевые слова: сухой способ, вертикальная мельница, ресурсы, цемент, экономия.

Основной проблемой предприятий цементной промышленности являются высокие затраты или расходы топливных ресурсов: в 1-1,8 раза превышающие расход теплоносителя (топлива) международных цементных корпораций. Уровень удельных затрат топлива современных предприятий, работающих по сухому способу в Японии, КНР и других странах, составляет 115 - 120 кг у.т./т клинкера. Таким образом, обеспечить эффективность, низкий топливо-энергетический расход, приблизить параметры расхода ресурсов к уровню международных стандартов можно, если за счет проектно-технологических решений обеспечить создание производства, учитывающее международные достижения.

Из всех существующих в настоящее время технологий, самой эффективной с точки зрения ресурсосбережения является сухой способ производства цемента. Объем печных газов при сухом способе на 35%-40% меньше, чем при мокром, при одинаковой производительности печей. В проектных решениях развитие технологии строится на основе соблюдения высоких требований к защите окружающей среды, экономии ресурсов: сырьевых, топливных и энергетических.

В разработанной технологии реализуется экономия топливных и энергетических ресурсов на всех переделах, путем совмещения нескольких ресурсозатратных технологических операций: сушка + помол + сепарация. В проекте предусмотрено использование современных агрегатов, оснащенных пылеулавливающими системами, эффективными установками по гомогенизации сырьевой муки, разработаны рецептурно-технологические приемы и решения, позволяющие максимально учитывать физико-химические свойства сырья. Например, проектирование производится на основе модульных характеристик сырьевой смеси.

Цементное производство связано с несколькими стадиями сырьевых переделов. Первая стадия – первичное дробление сырьевых материалов. На этом этапе требуется дробление известняка, глины, гипса и т.д. Перед смешением исходных материалов в сырьевую муку, они должны быть подготовленными (иметь регламентированную влажность и размер фракции).

Проводя вариантный анализ дробильных установок, которые могли бы использоваться на предприятиях, сделан выбор в пользу дробильно-сортировочного комплекса РСР 300Т/НР. Это обосновано рядом факторов: в одном комплексе обеспечиваются 2 стадии дробления: в замкнутом цикле работа комплекса организована в автоматическом режиме, предельная крупность загружаемых кусков отвечает размерности карьерных зерен. Для работы комплекса не требуется промышленное помещение, так как его работа организована на карьере. На цементный

завод будет поступать известняк оптимальной минимальной фракции, и это позволит сократить производственный цикл основной технологии, а также более рациональными становятся операции по доставке и хранению сырья, расход энергоресурсов снижается на 20-25% по сравнению с традиционными схемами подготовки сырьевых материалов.

Для помола сырьевой смеси и клинкера проектом предусмотрено использование энергоэффективного оборудования с совмещением операций помола и сушки. Использование традиционного оборудования - шаровых и трубных мельниц, массово применяемых в цементной отрасли России, считаем не эффективным. Эффективность современных технологических агрегатов оцениваем по расходу энергоресурсов и как это свидетельствует из рис. 1, самым эффективным агрегатом является вертикальная валковая мельница (на 50% ниже расход электроэнергии).

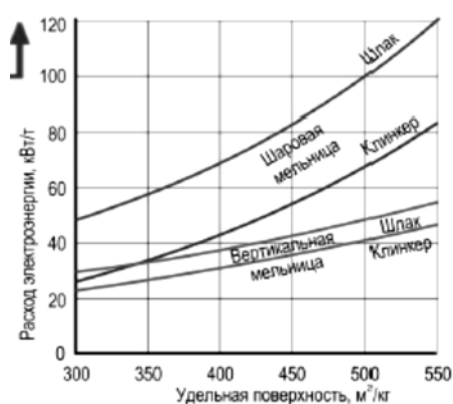


Рис.1 Зависимость расхода энергии на помол

Принцип действия вертикальной валковой мельницы заключается в перемалывании материала между вращающимся помольным столом и неподвижными помольными валками. Помол происходит под действием сил трения и давления. Однако какой бы современной и совершенной ни была мельница, ее целесообразное использование возможно только в случае помола в замкнутом цикле. Для этого, предлагается включить в технологический цикл комплексную помольную установку со всеми сопутствующими компонентами. Так, в помольной установке с использованием мельницы фирмы Loesche, материал перемалывается и при необходимости высушивается. В технологии используется возвратный теплоноситель. Большая часть технологического газа возвращается в мельницу для повторного использования – оставшаяся часть выводится через дымовую трубу. Главным преимуществом таких установок является то, что в замкнутом цикле мельница-фильтр и не требует дополнительных внешних механических транспортеров. Благодаря этому, не требуются расходы на техобслуживание транспортировочных устройств и передаточных желобов, а так же необходимых для них пылеуловителей.

Еще одна из энергозатратнейших операций – получение клинкера при обжиге. Аналитические данные показывают, что в основном применяются вращающиеся печи - 95% от всех печных агрегатов на долю других, шахтных и доменных, приходится около 5%. Проектом предусмотрено использование вращающейся печи с запечными теплообменными установками. Усовершенствование процесса обжига смеси стало возможным за счет оснащения системы циклонных теплообменников реакторами – декарбонизаторами. При этом декарбонизация шихты на 80-95% осуществляется за счет автономного сжигания топлива в среде горячего воздуха, подаваемого из холодильника. Самый теплоемкий процесс – декарбонизация – вынесен из вращающейся печи в теплообменник, где скорость теплообмена на порядок выше, чем в самой печи. Это позволило еще уменьшить размеры вращающейся печи и увеличить число ее оборотов, а вместе с этим, повысить производительность печи.

Среди рассмотренных фирм-производителей печных комплексов, предлагается использовать одноточную систему с декарбонизатором типа ILC, фирмы FLSmidth. Преимуществами этой системы являются: продолжительное нахождение сырья и газа в декарбонизаторе, ввиду его большого объема и умеренного завихрения; самый низкий уровень выбросов в окружающую среду NO_x ; возможность использования низкосортных видов топлива. Система характеризуется такими показателями как: коэффициент обжига в декарбонизаторе – 55-65%; декарбонизация на входе в печь – 90-95%. Данная система включает в себя 5-ти ступенчатый теплообменник, вращающуюся печь Rotax-2 размерами 4,15x49 (в российской практике применяют печи от 70 до 95 метров, диаметр 3,6-7 метров) и клинкерный холодильник SF Cross-Bar. В данном комплексе, проектное решение за счет совмещения технологических агрегатов и конструкции печной установки, позволяет сократить расход топливно-энергетических ресурсов до 45%. Последовательность технологических операций в разработанном проекте представлена на схеме рис. 2. Концептуальным решением проекта является использование инновационных подходов к транспортировке сырьевых материалов по пневмотранспорту и вакуумным конвейерам, а так же оборудование для гомогенизации по современным схемам пневматического типа.



Рис. 2 Функционально-технологическая схема разработанной технологии

Таким образом, в проекте реализована технология, которая на 80-90% менее энергозатратна. Целью всего технологического процесса, является получение высокопрочного вяжущего вещества, соответствующего стандартам и отвечающего требованиям ресурсосберегающей технологии. От операции по обжигу и помолу клинкера в значительной мере зависит качество конечного продукта, что реализуется в агрегатах мирового уровня. В современном мире, инновации вытесняют старые неэффективные технологии. И стоит задача идти в ногу со временем, даже в таком консервативном виде производства как производство цемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование цементных заводов: учебное пособие для студентов вузов / П. В.Зозуля [и др.]. - Санкт-Петербург : Синтез, 1995. - 440 с.
2. Краткий справочник технолога цементного завода: справочник / И. В. Кравченко [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1974. - 304 с.

САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЙСЯ БЕТОН

Зимакова Г. А., канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
строительных материалов, ga.winter@yandex.ru

Филимонов А. И., бакалавр, plagioklaz@list.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Бетон на сегодняшний момент является самым распространенным строительным материалом. Однако популярный строительный материал, находясь в застывшем виде, имеет свойство деформироваться (трескаться) по истечении определённого времени. Поэтому наиболее важной темой считаю: самовосстанавливающийся бетон, связанной с исследованиями, направленными на получение новых видов традиционного стройматериала. Данный метод поможет сохранить работоспособность бетона без экономических и физических трудозатрат человека в дальнейшем.

Ключевые слова: Самовосстанавливающийся бетон; трещины; оболочка капсул; бактерии; бетон.

Поиск методов и приемов сохранения эксплуатационно-технических характеристик бетонных конструкций в течение большого временного промежутка является предметом современных научных исследований. Анализ научных данных и патентных исследований показывает, что большой объем работ посвящен вопросам самовосстановления бетона. Теоретической основой данного направления является то, что при эксплуатационных нагрузках и воздействии окружающей среды в бетонном конгломерате начинают возникать микро- и макродефекты, в основном обусловленные наличием знакопеременных напряжений.

Так разработки Хенка Джонкерса (Henk Jonkers) связаны с развитием теоретических основ применения капсулированных добавок, вводимых в бетон на стадии производства бетонной смеси, являются наиболее эффективным средством борьбы против непреодолимого врага железобетона-времени. Со временем, при величине напряжений, превышающих предельные значения прочности, возникают микродефекты, в основном в виде микротрещин. Постепенно происходит их накопление, расширение и в результате начинается необратимое разрушение бетона. В образовавшиеся полости проникает вода, она вызывает коррозию металла, а зимой замерзающий лед расширяет трещины. В результате, сооружения теряют первоначальную прочность, а для ее восстановления требуются дорогостоящие затраты на ремонт или реконструкция, а в отдельных случаях, выходом может быть только снос.

Под термином самовосстанавливающийся бетон понимают такой композит, который имеет внутренний потенциал к «залечиванию» дефектов. В международной практике начинают производить новый тип добавок различного химико-минералогического состава, обеспечивающий самовосстановление бетона.

Работу над своим изобретением Хенк Джонкерс начал в 2006 году, после того, как к нему обратился инженер-строитель с предложением использовать природные микроорганизмы для создания самовосстанавливающегося бетона. Микробиолог взялся за решение задачи, но это было непросто — «ломать голову» ученому пришлось более трех лет. Проблема была в том, что бактериям необходимо как-то выживать в очень суровых условиях — плотная каменная среда, с отсутствием влаги (в идеале) и обилием щелочных соединений. Кроме того, бактерии не должны проявлять признаки жизнедеятельности годами, быть в «спячке» до тех пор, пока их не активизирует вода.

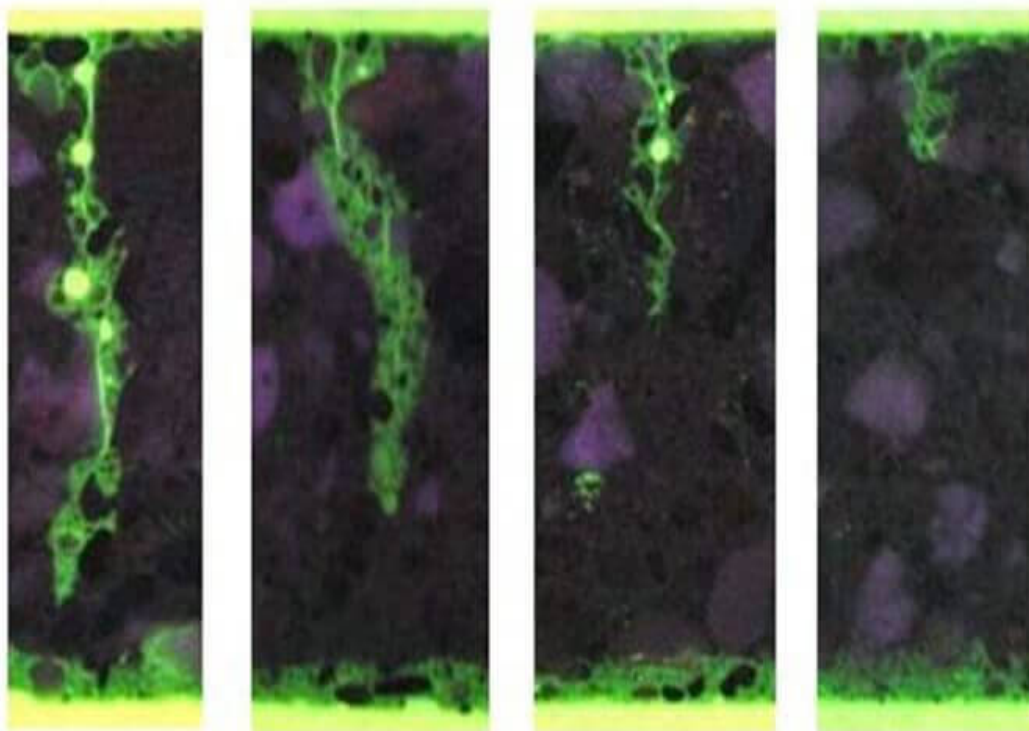


Рис. 1. Процесс самовосстановления бетона

Выбор Джонкерса пал на бактерии рода бацилл (палочковидные бактерии, образующие внутриклеточные споры). Их отличительная особенность — способность выживать в агрессивной щелочной среде, а их споры могут находиться в анабиозе на протяжении многих лет. Но при активации жизненных циклов бацилл им потребуется питание. Решением мог бы стать сахар — но он сделал бы бетон более «рыхлым», уменьшил его прочность. Много вариантов было просчитано, а оптимальным выбран лактат кальция (кальциевая соль молочной кислоты, применяется в

пищевой промышленности в качестве пищевой добавки Е327). В качестве герметичной емкости для бактерий решили использовать гранулы с оболочкой из биоразлагаемого пластика.

Бактерии самовосстанавливающегося бетона «просыпаются» с разрушением водой пластической оболочки капсул, начинают активно размножаться и поглощать запасы лактата кальция, образуя ремонтный материал — известняк. Процесс происходит в местах образования трещин, которые автоматически заделываются полученным известняком. Таким образом, дальнейшее разрушение бетона предотвращается без участия человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые интересные технологии – Самовосстанавливающийся бетон. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.kpi.kharkov.ua/nanochem/novie-interesnie-tehnologiiibeton/>

2. Самовосстанавливающийся бетон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ocheninteresno.com/ru/technologies/self-healing-concrete/amp/>

3. Самовосстанавливающийся бетон от голландского микробиолога — биобетон, который сам себя «лечит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecotechnica.com.ua/arkhitektura/76-samovosstanavlevayushchijsya-beton-ot-gollandskogo-mikrobiologa-stroitelnyj-material-kotoryj-sam-sebya-lechit.html>

УДК 691.4

ПРИРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОПУДРИВАНИЯ ГРАНУЛ ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Зимакова Г.А., канд. техн. наук, доцент, zimakovaga@tyuiu.ru

Илясова С. В., ассистент кафедры, ilyasovsv@tyuiu.ru

Аристов Е. А., аспирант, svetlanilyasova@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: В статье приводятся результаты исследования природного минерального сырья - алевропелитовой породы, являющейся более эффективной опудривающей добавкой, чем традиционно применяемые в технологиях производства керамзитового гравия и улучшающие свойства пористого заполнителя.

Ключевые слова: природный материал, алевропелитовые породы, пористый заполнитель, опудривание гранул.

Сущность технологического процесса производства керамзита состоит в обжиге глиняных гранул по оптимальному режиму, при котором активное газовыделение совпадает по времени с переходом глины в пиропластическое состояние. Однако газообразование при обжиге происходит в основном при более низких температурах, чем температурный интервал пиропластического размягчения, это не позволяет эффективно использовать потенциальную способность глин к вспучиванию глин и снижает качество получаемого керамзита.

Для повышения качества керамзитового гравия в технологиях производства применяют опудривание свежесформованных гранул. В результате научно-практических исследований разработаны общие требования к показателям качества опудривающих порошков (Табл.1), прежде всего они должны характеризоваться высокой огнеупорностью.

Таблица 1

Основные технические требования к опудривающим добавкам

Наименование показателей							
Огнеупорность , °С	Массовая доля щелочных соединений	Массовая доля соединений серы, %	Массовая доля воды, %	Тонкость помола, проход % по массе через сито			
				1	0,2	0,14	0,063
не менее 1380	не более 3 в пересчете на K_2O+Na_2O	не более 5 в пересчете на SO_3	не более 5	не менее 100	не менее 95	не менее 70	не менее 50

Для опудривания гранул применяют цемент, огнеупорные глины, кварциты, цементную пыль с электрофильтров, перспективным является поиск таких добавок в виде техногенных продуктов промышленности. Как правило, опудривающие добавки не отвечают полному перечню изложенных показателей, или требуется в технологическую линию производства включить новые операции по их подготовке.

Целью исследований являлось: установить эффективность опудривающей добавки, изготовленной на основе природного сырья – алевропелитовой породы ишимской свиты юга Тюменской области в технологиях производства керамзитового гравия.

Алевропелитовая порода – природный материал с размерами зерен от 0,15 до 50 мкм, содержание зерен размером до 15 мкм в среднем составляет 40%, зерен размером более 30 мкм - 10-12%.

Минеральный состав породы установлен рентгенофазовым анализом (рис. 1), в основном представлен кварцем, натриево-калиевыми полевыми шпатами, незначительным количеством галлуазита.

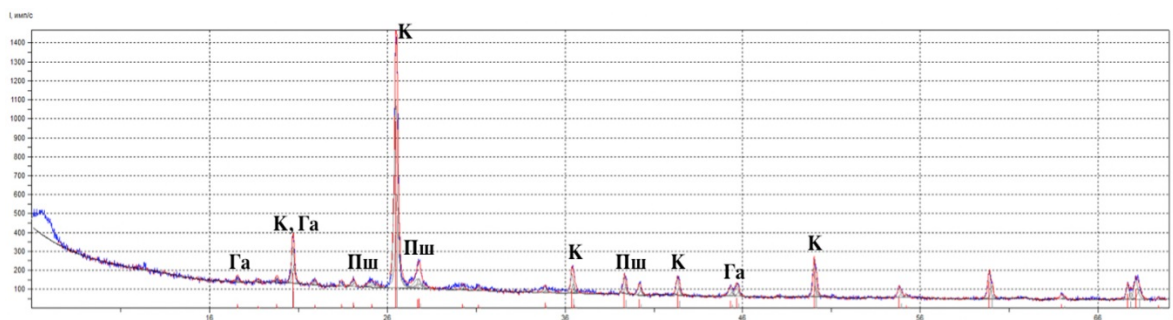


Рис. 1. Рентгенофазовый анализ алевропелитовой породы
К - кварц; *Га* - галлуазит; *Пш* – полевые шпаты

Химический состав породы в основном представлен, %: SiO_2 – 71,4-76,6; Al_2O_3 – 11,3-14,3; Na_2O – 1,0-2,0; K_2O – 1,0-2,0; Fe_2O_3 – 2,5-3,5; MgO – до 1,5; CaO – 0,7-0,8.

Технологические параметры производства керамзитового гравия на основе кыштырлинских глин в процессе проводимых исследований были положены в основу методики исследования.

По результатам исследования установлено, что в качестве главного компонента опудривающей добавки, более эффективной, чем традиционно применяемые, следует использовать природные алевропелитовые породы. Состав опудривающей добавки включает алевропелитовую породу и феррохромлигносульфонат (ФХЛСТ).

Применение в качестве опудривающей добавки предложенной композиции приводит к расширению интервала вспучивания гранул с 50 до 80°, расширение идет в область более высоких температур, совпадение процесса газовыделения с периодом пиропластичного состояния обеспечивает создание мелкопористой структуры гранул. Модифицирующий компонент добавки обеспечивает образование эвтектического состава, который кольматирует сформированные в дообжиговой зоне печи поры и препятствует выходу газа изнутри гранул.

Таким образом, при использовании природного минерального сырья, не требующего операций по его подготовке, обладающего тонкодисперсной структурой представляется возможным сформировать внешние слои на гранулах керамзита, обладающие устойчивостью к истиранию. За счет опудривания возможно изменение свойств пористого заполнителя в широких пределах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия : ГОСТ 32496-2013. – Введ. 2015-01-01. - Москва: Стандартинформ, 2014. - 12с.
2. Иванов, И. А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях / И. А. Иванов. – Москва : Стройиздат, 1993. - 182 с.

3. Роговой, М. И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики: учебник / М. И. Роговой. – Москва: Изд-во Эколит, 2016. – 320 с.

4. Технология и материаловедение пористых заполнителей легких бетонов: монография / В. П. Петров [и др.]. – Москва: Изд-во «Палеотип», 2013. – 332 с.

5. Соколова, Ю. А. Технология и материаловедение пористых заполнителей / Ю. А. Соколова. – Москва : Издательство: КноРус, 2015. - 345 с.

6. Онацкий, С. П. Производство керамзита / С. П. Онацкий. - 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1987. – 336 с.

7. Баландина, Т. О. Об использовании отходов углеобогащения в производстве некоторых строительных материалов / Т. О. Баландина, Т. Л. Куимова // Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1972. - № 9. – С. 83-87.

УДК 691.3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСА

Каспер Е.А., доцент, elena-kasper@mail.ru

Баёв А. А., магистрант, tohamegion@gmail.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Одной из важнейших проблем промышленности строительных материалов является развитие отечественного производства эффективных строительных материалов на основе гармоничной и сбалансированной деятельности по отношению к окружающей среде, экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов. В этом аспекте перспективны строительные материалы и изделия на основе гипсовых вяжущих. Цель работы – выбор оптимального способа производства высокопрочного гипса. Объектом исследования в работе являются высокопрочные гипсы. Предметом исследования является влияние технологических параметров на свойства гипсового вяжущего. Результат исследования предполагает, что выбор оптимальных параметров и способов производства позволит получить качественный высокопрочный гипс.

Ключевые слова: высокопрочный гипс, тонкость помола, импульсно-вакуумная сушка.

Высокопрочный гипс относится к низкообжиговым гипсовым вяжущим, получаемый путем кипячения его в водных растворах некоторых солей с последующей сушкой и измельчением в тонкий порошок. В этом случае решается проблема снижения водопотребности гипса и соответственно при твердении образуется менее пористый и более

прочный камень. Полученный в данном случае гипс имеет другую кристаллическую модификацию полуводного гипса (α -полугидрат) с водопотребностью 35-40%.

Высокопрочный гипс - это негорючий и огнестойкий материал, удовлетворяющий самым строгим требованиям пожарной безопасности. Он не имеет запаха и является строительным материалом, безвредным для здоровья.

Его важнейшим свойством является способность поглощать избыточную влагу и выделять её в окружающую среду при её недостатке, что способствует установлению оптимального микроклимата в помещениях, что и легло в основу производства сухих смесей и изделий, предназначенных для внутренней отделки и при производстве строительных работ.

Область применения высокопрочного гипса затрагивает такие сферы, как производство: сухих строительных смесей, сантехизделий, формовочного материала, несгораемых перегородок, художественных изделий, так же для медицинских предприятий в стоматологии и травматологии. [1]

Для получения высокопрочного гипса, состав которого характеризуется преимущественным содержанием α -полуводного гипса, применяется автоклавная или гидротермальная обработка гипсового камня насыщенным водяным паром под давлением.

Во время такой обработки происходит процесс дегидратации двуводного гипса и переход его в α -полугидрат кристаллической структуры. Отщепленная при пропаривании кристаллизационная (гидратная) вода удаляется посредством сушки, после чего производится тонкий помол высушенного продукта [2].

На основные свойства гипсовых вяжущих большое влияние оказывает тонкость помола. Чем тоньше помол, тем выше прочность гипса. Таким образом, для получения наибольшей прочности продукта следует применять гипсовое вяжущее тонкого помола. Для производства высокопрочного гипса целесообразнее применять гипсовый камень первого сорта, так как чем больше содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, тем выше прочность готового продукта.

Истинная плотность полуводного гипса находится в пределах 2500-2800 кг/м³. Насыпная плотность его в рыхлом состоянии 800-1100 кг/м³, а в уплотненном 1250-1450 кг/м³.

Водопотребность или нормальная густота является важнейшим свойством гипсовых вяжущих. Для получения теста нормальной густоты для α -полугидрата сульфата кальция требуется 30...40% воды затворения.

Сроки схватывания высокопрочного гипса зависят: от свойств сырья, технологии изготовления, длительности хранения, количества, вводимой

воды, температуры вяжущего вещества, условий перемешивания, наличия добавок и др. [3-5]

Улучшения многих свойств гипсовых вяжущих можно достичь за счет введения различных химических добавок. Наибольшее распространение в настоящее время имеют многофункциональные добавки, состоящие из пластификаторов, полимеров, регуляторов твердения, гидрофобизаторов, водоудерживающих и других добавок, в зависимости от требуемых свойств гипсовых изделий.

Эффективным способом улучшения химических свойств гипсовых вяжущих является механо-химическая активация. Высокопрочные гипсовые вяжущие за счет механо-химической активации переходят в гипсовые вяжущие низкой водопотребности с одновременным улучшением всех свойств.

На свойства гипсовых вяжущих влияет способ их изготовления и оборудование, применяемое для тепловой обработки.

Технологические схемы производства автоклавного гипса могут быть разделены по принципу осуществления пропаривания и сушки на:

- Схемы с пропариванием гипсового камня в автоклаве и последующей сушкой продукта в отдельном сушильном аппарате;
- Схемы с пропариванием и сушкой материала в одном аппарате.

По источникам получения паро-технологические схемы могут быть разделены на:

- Схемы с внешними источниками пароснабжения;
- Схемы с самозапарочными аппаратами.

Проанализировав вышеприведенные технологические схемы производства высокопрочного гипса и факторы, влияющие на качество продукта, можно сделать вывод, что наиболее целесообразно применить технологическую схему производства с импульсно-вакуумной сушкой, так как она исключает большинство недостатков других схем производства. Если на данной технологической линии устроить производство строительного гипса, то можно добиться безотходного производства.

Этот способ позволяет значительно сократить длительность процесса высушивания, во время которого не происходит перегревания материала ни на первом этапе сушки, ни после устранения из продуктов свободной влаги.

Во время вакуумно-импульсной сушки продукт, нагретый предварительно до температуры, которая не разрушает вещества, за счет изменений давления в сушилке подвергается процессу влагоудаления в 5-10 раз интенсивнее, чем это могло происходить в обычных условиях. В вакуумно-импульсной сушильной камере влага переходит на поверхность высушиваемого материала, а затем в сушильную камеру в состоянии жидкости. При этом образованный пар внутри высушиваемых продуктов полностью устраняется [6].

По данному способу получают гипсовые вяжущие марок Г-20...Г-30 и более. Отличительной особенностью технологической схемы является гидротермальная обработка сырья паром при давлении 0,7 МПа при 6 часовой изотермической выдержке. При этом размер кусков сырья должен находиться в пределах 90...120 мм. Поэтому для организации безотходного производства необходимо вместе с производством высокопрочного гипса иметь производство строительного гипса, которое будет использовать фракцию гипсового камня размером менее 90 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства: учебник для вузов / А. В. Волженский, Ю. С. Буров – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стойиздат, 1979. – 476 с.
2. Вихтер, Я. И. Производство гипса / Я. И. Вихтер. - Москва: ПРОФТЕХИЗДАТ, 1962. - 246 с.
3. Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125-79; введ.-1980-07-01 – Москва: Изд-во стандартов, 2002. – 7 с.
4. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия: ГОСТ 4013-82; введ. 1983-07-01 - Москва: Изд-во стандартов, 1987 – 6 с.
5. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний: ГОСТ 2378-79; введ. 1980-07-01 - Москва : Изд-во стандартов, 1987 – 16 с.
6. Зимакова, Г. А. Гипсовые вяжущие, материалы и изделия на их основе: учебно-методическое пособие / Г. А. Зимакова, Е. А. Каспер, О. С. Бочкарева // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. - № 3-3. - С. 222-223.

Научный руководитель: Каспер Е.А., доцент.

УДК 691.3

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРФЯНОЙ ЗОЛЫ

Каспер Е.А., доцент, elena-kasper@mail.ru
Камалутдинов Р.М., магистрант, rkamalutdinov1@ya.ru
Бочкарева О.С., ассистент, bochkarevaos@tyuiu.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье описывается возможность применения техногенных отходов, получаемых при сжигании твёрдого топлива, в строительной отрасли, в том

числе торфяной золы. Проблема экологии стоит крайне остро на сегодняшний день, т.к. высокие темпы роста промышленного и строительного сектора оказывают негативное влияние на окружающую среду в целом. Поэтому одним из решений данной проблемы является – рациональное применение техногенных отходов. Цель данной статьи – определить свойства торфяной золы, отражающие потенциальную эффективность применения её в роли дополнительного компонента железобетона. Для подтверждения возможности применения торфяной золы в качестве сырьевого компонента для цементных композитов был проведен ряд исследований по изучению её свойств.

Ключевые слова: торфяная зола, тонкодисперсная минеральная добавка, гранулометрический состав, бетон.

Большая часть электроэнергии вырабатывается при переработке твердого топлива – торфа, сланцев, углей, в последствии образуются около 50 млн. тонн в год зольных отвалов. На данный момент в отвалах ТЭС находится свыше 1,5 млрд. тонн таких отходов, а уровень их утилизации составляет не более 15%. В силу развившихся событий, возможность использование побочных продуктов от сжигания твердого топлива является крайне важным направлением для изучения. Перевод золы, образующейся при сжигании твердого топлива, из класса отходов в класс сырья – это важный индустриальный шаг, который позволит не только повысить экономические показатели, а также снизить негативное влияние на окружающую среду. [1]

Нельзя сказать, что на сегодняшний день уровень использования техногенных отходов во многих странах, в том числе в России, находится на очень низком уровне, но тем не менее недостаточно высокий для того чтобы максимально снизить вред для окружающей среды, наносимый посредством устройства зольных отвалов.

Анализ отечественного и зарубежного опыта освоения побочных продуктов сгорания твердого топлива показывает, что применение их в строительстве является крайне эффективным. Золой сухого улавливания можно использовать в качестве укрепления грунтов различного состава, как в виде самостоятельного вяжущего материала, так и в составе комплексного вяжущего.

Ежегодное увеличение темпов мирового строительства несомненно приводит к повышению спроса, а значит и значительному росту цен на строительные материалы. Поэтому возникает необходимость в поиске новых альтернативных источников сырья и технологических решений по созданию на их основе вяжущих веществ и материалов.

Одним из перспективных вариантов таких источников, наряду с основными техногенными отходами, может служить торф. Торф – один из важнейших природных мировых ресурсов. Россия занимает лидирующую позицию по запасам и добыче торфа. Месторождения торфа в России занимают значительные площади. При этом добыча торфа осуществляется

методом фрезирования, что говорит о низкой сложности получения ресурса. Также торф является одним из экологически чистых видов сырья, поэтому его применения в качестве сырья для строительных материалов является крайне актуальным. [2]

Торфяная зола – остаток, образующийся при полном сгорании торфа. Первичная (или конституционная) зола – продукт полного окисления и разложения неорганической части растений-торфообразователей, вторичная (наносная) зола – продукт преобразования минеральных веществ, поступивших в торфяную залежь в виде атмосферной пыли, с грунтовыми и поверхностными водами в процессе разработки торфяной залежи (при фрезеровании придонных отложений, при распределении на поверхности залежи выкидки из каналов, включающей минеральные грунты). Зола, как и вода, в топливном торфе относится к балласту. Важнейшими элементами химического состава золы торфа являются кальций, кремний, железо и алюминий. [3]

Для рационального использования сырья необходимо иметь знания о его свойствах и характеристиках. Роль торфа в цементном композите обуславливается его химическим и гранулометрическим составом. Наличие минералов SiO_2 и Al_2O_3 свидетельствует о пуццолановой активности вещества. [4]

Для определения возможности использования торфяной золы в качестве добавки в бетон было проведено исследование её гранулометрического состава с использованием дифракционного анализатора частиц Fritsch «Analysette 22». На рис. 1 представлена интегральная кривая гранулометрического состава торфяной золы.

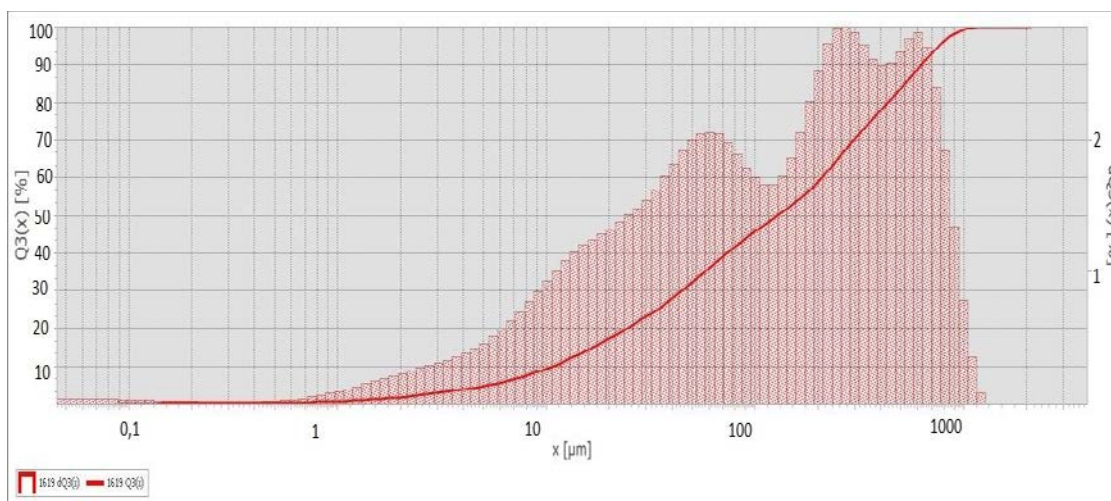


Рис. 1. Интегральная кривая гранулометрического состава торфяной золы до помола

Анализ гранулометрического состава торфяной золы показывает, что для её эффективного использования в качестве тонкодисперсной минеральной добавки в бетонах необходимо прибегнуть к механической

активации. Более тонкий помол торфяной золы производился в шаровой мельнице в течении двух часов при непрерывном режиме работы агрегата. На рис. 2 представлены гранулометрические составы торфяной золы после механической активации и цемента (ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2016, Сухой Лог).

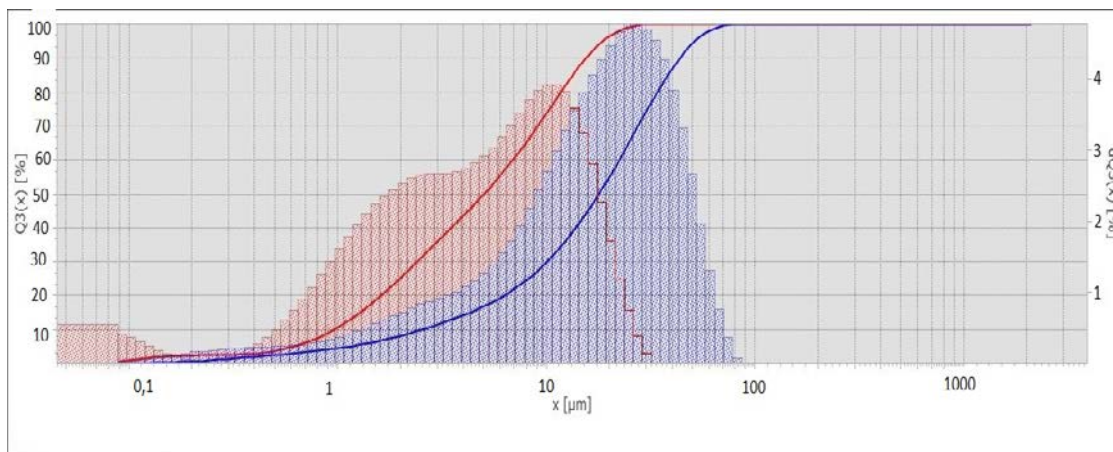


Рис. 2. Интегральные кривые гранулометрических составов тонкодисперсных компонентов: 1 –торфяной золы после механической активации; 2 –ЦЕМ I 42,5 Н

Результаты исследования показывают, что дополнительный помол материала существенно увеличивает его дисперсность, что позволяет применять ее в роли микронаполнителя в бетонах. [5] При этом удельная поверхность полученной торфяной золы определялась с помощью автоматического прибора ПСХ-11 и составила $22000\text{см}^2/\text{г}$, насыпная плотность – $580\text{кг}/\text{м}^3$.

Также были проведены испытания по определению пуццоланической активности добавки по методу поглощения извести, которые показали, что она является химически активной.

Полученная торфяная зола обладает микронаполняющим и пуццоланическим эффектом, что позволяет её использовать в технологии бетонов. Доля каждого из эффектов в повышении прочности зависит от химической активности добавки. Реакция зол с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ протекает замедленно, в итоге в стандартном 28-суточном, а тем более, в меньшем возрасте основной эффект в бетоне - микронаполняющий, являющийся наиболее сложным.

Введение торфяной золы в состав цементных композитов позволит снизить расход вяжущего за счет создания более плотной структуры, при этом повысить такие показатели качества, как морозостойкость, водонепроницаемость и долговечность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование торфа как стратегического ресурса России в интересах многоотраслевой экономики [Электронный ресурс] // НП «Российское торфяное и биоэнергетическое общество». – Режим доступа: <http://rostorf.ru/files/all.pdf>.

2. Данилович, И. Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов : учеб. пособие для сред. ПТУ / И. Ю. Данилович, Н. А. Сканава. – Москва : Высшая школа, 1988. – 72 с.

3. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны. Научное издание / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.

4. Рациональное использование торфа в строительных технологиях / Н. О. Копаница [и др.] // Строительные материалы. – 2007. – № 12 – С. 32-33.

5. Камалутдинов, Р. М. Перспективы применения торфяной золы в бетонах / Р. М. Камалутдинов, Е. А. Каспер // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2018. - С. 21-23.

Научный руководитель: Каспер Е.А., доцент.

УДК 691.3

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДРЕВЕСНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

Каспер Е.А., доцент, elena-kasper@mail.ru

Малеванная М.И., магистрант, m.malevannaya@yandex.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. При производстве цементно-стружечных плит одним из важнейших факторов, отвечающих за прочностные характеристики, является форма древесных частиц. При правильном подборе геометрических характеристик заполнителя производимая плита будет соответствовать требованиям ГОСТ26816-2016.

Ключевые слова: цементно-стружечные плиты, древесина, цемент, стружка,

Популярность применения цементно-стружечных плит во внутренней и внешней отделке растет с каждым годом. Это объясняется большим спектром эксплуатационных свойств позволяющим применять

ЦСП как во внутренней, так и внешней отделке зданий. В связи с этим прослеживается наращивание темпов производств заводов, увеличение скорости производств и уменьшение технологических издержек.

В последнее время все больше внимания уделяется сырьевым материалам, отвечающим за основные физико-механические и эксплуатационные свойства. Основным сырьем для производства ЦСП является цемент и древесная стружка. Для лучшей адгезии древесины и цемента, необходимо применять без добавочное вяжущее. В связи с рядом экономических и территориальных причин, применяемая марка цемента редко претерпевает изменения. Поэтому для улучшения свойств цементно-стружечных плит чаще всего прорабатывается вопрос применяемой древесной стружки [1].

В зависимости от производственной линии и ее комплектации существуют основные технологические операции связанные с измельчением древесины:

- Заготовка балансов, вершинника, срезки и горбыля длиной 3-6 метров, в штабелях высотой не более 6 метров.

- Вылежка древесины. Происходит в коре от 3 до 9 месяцев. Данная операция необходима для того, чтобы из древесины естественным путем вышли сахара и танины, препятствующие адгезии древесины и цементного камня. Также вылежка необходима для стабилизации влажности входного сырья на производство.

- Подача древесины на стружечный станок. Данная операция выполняется башенным краном в разобщик.

- Измельчение древесины на стружечном станке «Хомбак» (данный станок входил в комплектацию всех производственных линий 1970-1990 г.г.) По пластинчатому транспортеру древесина подается в станок. Далее происходит зажимание древесины для стабилизации сырья в устройстве. После чего ножами, при ударной нагрузке происходит первичное измельчение. Далее на пневмотранспортерах стружка подается в промежуточный бункер, а оттуда на молотковую мельницу. На данной операции задается один из важнейших параметров древесной стружки – толщина. При изменении данного параметра возможно изменение как физико-механических свойств изделия, так и внешнего вида изделия.

- Молотковая мельница. Через фракционное сито проходит стружка на большой скорости. На данной операции стружка обретает свои основные геометрические размеры. При изменении данных размеров в меньшую сторону – уменьшается прочность, в большую – теряется презентабельный внешний вид и возможно появление непропрессованных участков.

- Вибросито (входит в состав некоторых линий). Необходимо для разделения стружки на фракции и последующего перемещения на весы

стружки. Также на этой стадии слишком крупная стружка отправляется на домол.

При первичном измельчении древесины на стружечном станке получаются частицы размерами 40*40 мм, толщиной 0,2-0,4мм. Данные частицы через систему пневмотранспортеров попадают на молотковую мельницу, где измельчаются до размеров [2].

- Крупная: 22-35 мм длиной, 1-4 мм шириной, 0,2-0,4 мм толщиной.
- Средняя: 5-22 мм длиной, 1-3 мм шириной, 0,1-0,4 мм толщиной.
- Мелкая: 1-5 мм длиной, 1-2 мм шириной, 0,1-0,4 мм толщиной.

Уже получившаяся стружка попадает на вибросито, где отсеивается слишком крупная стружка и отправляется на молотковую мельницу для вторичного измельчения. Далее существует две схемы производств: на двух смесителях и на одном.

При работе на одном бункере оставшаяся стружка сразу попадает в бункер и после нескольких операций попадает в смеситель. После чего трехслойность плиты зависит от раздувающих регистров на 1 и 4 формующих головках. При работе на двух смесителях из вибросита выделяется две фракции древесины: крупная и смесь средней и мелкой. Фракции направляются в разные смесители, после которых они попадают на разные формующие головки.

Формование ковра цементно-стружечных плит происходит на нескольких головках (от четырёх до двух в зависимости от комплектации). Основная комплектация: 4 формовочных головки на 1 смеситель объемом 1м³.

Формование поточное, поэтому 1 и 4 головки отвечают за внешние слои плиты. Эти слои несут в себе основные эксплуатационные и некоторые физико-механические свойства (водопоглощение, разбухание по толщине). Также именно от этих слоев зависит внешний вид плиты, по ГОСТ26816-2016 [3] плита должна иметь гладкую, однородную поверхность серого цвета. Поэтому целесообразно направить всю мелкую фракцию древесных частиц именно в этот слой.

2 и 3 головки формируют средний слой, который является скелетом плиты. И именно от этого слоя зависит прочность всей цементно-стружечной плиты. Для получения качественного продукта именно этот слой необходимо усиливать крупной фракцией древесной стружки. [4]

Основным критерием в производстве цементно-стружечных плит является прочность на изгиб. Для самой часто применяемой плиты толщиной 10мм минимальной прочностью является 12Мпа. Чтобы добиться такого показателя, необходимо использовать правильно подобранный размер древесной стружки в формировании трехслойного ковра ЦСП. Если на технологической линии ЦСП соблюдается весь технологический цикл производства плит и происходит правильное

формование трехслойного ковра, то производимая продукция будет соответствовать заявленным требованиям нормативной документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наназашвили, И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И. Х. Наназашвили - Москва: Стройиздат, 1990. - 415 с.
2. Наназашвили, И. Х. Справочник по производству и применению арболита / И. Х. Наназашвили - Москва: Стройиздат, 1987. - 208 с.
3. Плиты цементно-стружечные. Технические условия: ГОСТ 26816-2016. – Взамен ГОСТ26816-86; введ. 2017-07-01. - Москва: Изд-во стандартов, 2016. – 19 с.
4. Слобожанина, М. И. Применение отходов деревообрабатывающих предприятий при производстве цементно-волокнистых листов / М. И. Слобожанина, Д. А. Панченко // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2018. - С. 37-39.

Научный руководитель: Каспер Е.А., доцент.

УДК 693.3

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ

Каспер Е.А., доцент, elena-kasper@mail.ru

Сошин М.А., магистрант, soshin.m@bk.ru

Баёв А. А., магистрант, tohamegion@gmail.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Снижение материалоемкости и уменьшение массы строительных конструкций без потери их несущей способности и других эксплуатационных свойств являются одними из основных факторов повышения эффективности строительства, особенно высотного. Для этого требуются высокопрочные лёгкие бетоны на пористых заполнителях. Поэтому целью научной работы стало получение керамзитового гравия с заданными свойствами. В статье рассмотрено влияние рецептурно-технологических параметров на показатели качества керамзита и возможности его использования.

Ключевые слова: керамзитовый гравий, высокопрочный лёгкий бетон, насыпная плотность, прочность.

В настоящее время перед строителями стоят задачи по увеличению объемов строительства, повышению экологичности, экономичности, применению ресурсосберегающих материалов. Все эти условия не выполнимы без использования легких бетонов, в состав которых входит пористый заполнитель. Данные бетоны нашли широкое применение в отечественной и зарубежной практике, особенное распространение получил керамзитобетон. В США, Германии, Норвегии налажен выпуск керамзитового гравия, применяемого в производстве высокопрочного лёгкого бетона [1].

Конструкции, выполненные из керамзитобетона, обладают высокой конструктивной эффективностью, трещиностойкостью, долговечностью, низким коэффициентом теплопроводности, низким показателем радиационного фона, высокой экологичностью, пожаробезопасностью, позволяют возводить комфортные для проживания здания.

Если сравнивать высокоэффективные тяжелые и легкие бетоны, то легкий бетон обладает рядом преимуществ. Во-первых, они позволяют снизить вес конструкций, следовательно, снизить нагрузки на фундамент и повысить этажность зданий. Во-вторых, у них более высокие тепло- и звукоизоляционные показатели. В-третьих, они позволяют снизить себестоимость строительства за счет уменьшения трудозатрат, связанных с уходом за бетоном. Всё это позволяет использовать лёгкий бетон при строительстве высотных зданий и сооружений.

Основная проблема высотного строительства - это весовая нагрузка на нижние этажи и на основание. Поэтому если удастся снизить массу конструкции, то это очень серьезный шаг в высотном строительстве. Вот для этих целей и разрабатываются конструкционные бетоны на легких пористых заполнителях, в том числе керамзитобетоны, которые имеют такие же прочностные характеристики, как и тяжелые бетоны, но при этом намного их легче.

Основной проблемой производства керамзитового гравия является низкая номенклатура изделий, производимых на одном предприятии. На одном заводе изготавливают керамзит либо очень легкий с маркой по прочности М400-500 либо тяжелый с маркой по прочности М700-800. «Универсальных заводов» по выпуску и легкого, и тяжелого керамзита в нашей стране практически нет [2].

Задачей научной работы являлось проанализировать влияние технологических параметров производства на показатели качества керамзитового гравия. Данная работа проводилась в условиях производства на Винзилинском заводе керамзитового гравия, расположенного в Тюменской области.

В настоящее время на предприятии налажен выпуск керамзита со следующими характеристиками - марка по насыпной плотности М500, марка по прочности П100. Данные показатели не позволяют его

использовать при производстве высокопрочного керамзитобетона. Поэтому было принято решение о реконструкции одной из технологических линий с целью получения заполнителя с насыпной плотностью М800 и маркой по прочности П250.

Сырьем для производства керамзитового гравия служит тонкодисперсная легкоплавкая глина Кыштырлинского месторождения с карьерной влажностью 20-25%. При указанной влажности глина сравнительно плотная и может подвергаться тонкому дроблению без замазывания механизмов.

Технология подготовки глиняной массы к формованию оказывает большое влияние на показатели качества готовой продукции. Именно в этот период происходит разрушение слоистой структуры глины, она становится более однородной по вещественному и химическому составу, приобретает оптимальную вязкость. В дальнейшем при обжиге сырцовых гранул, когда глина переходит в пиропластическое состояние, более равномерно протекают процессы их вспучивания и структурообразования, что способствует получению керамзита лучшего качества [3].

На заводе ВЗКГ керамические гранулы получают с помощью формовочных вальцов, предварительно подвергая сырьевую массу обработке на камневыделительных вальцах и глинорыхлителе. На второй технологической линии по выпуску заполнителя М800 предусмотрен более тщательный способ подготовки шихты. Для этого дополнительно установлены камневыделительные вальцы и глиномешалка, что позволяет получить более однородную структуру готового продукта. Формование гранул осуществляется с помощью ленточного пресса.

На каждой технологической линии был произведен отбор проб готовой продукции с целью определения марки по насыпной плотности и марки по прочности при сдавливании в цилиндре. Результаты испытаний представлены в таблице 1 и 2[4,5].

Таблица 1

Показатели качества керамзитового гравия, формируемого с помощью формовочных вальцов

Показатель качества	Нормативное значение	Результаты испытаний	Среднее значение
Марка по насыпной плотности	450-500 кг/м ³	465 кг/м ³	465 кг/м ³
		453 кг/м ³	
		477 кг/м ³	
Марка по прочности	2,0 - 2,5 МПа	2,0 МПа	2,23 МПа
		2,1 МПа	
		2,3 МПа	

Таблица 2

Показатели качества керамзитового гравия, формуемого с помощью ленточного пресса

Показатель качества	Нормативное значение	Результаты испытаний	Среднее значение
Марка по насыпной плотности	750-800 кг/м ³	752 кг/м ³	767 кг/м ³
		770 кг/м ³	
		780 кг/м ³	
Марка по прочности	5,5 - 6,5 МПа	6,0 МПа	6,2 МПа
		6,3 МПа	
		6,3 МПа	

Полученные результаты в очередной раз доказывают, что качество подготовки сырьевой шихты оказывает сильное влияние на структуру и свойства керамзитового гравия. Пористый наполнитель, выпускаемый из одного и того же сырьевого материала, с одинаковыми режимами сушки и обжига гранул, но с более тщательной технологией подготовки и формования, обладает более высокой прочностью.

Полученный керамзитовый гравий на ВЗКГ Тюменской области с насыпной плотностью М800 и маркой по прочности П250 может быть использован для получения высокопрочного керамзитобетона, используемого в высотном строительстве, а также при возведении уникальных зданий и сооружений, эксплуатируемых в агрессивных и суровых условиях крайнего севера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, И. А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях / И. А. Иванов, И. Е. Путляев, Ю. Л. Гайдукова. – Москва: Стройиздат, 1993. – 182 с.
2. Производство керамзита. Пособие для керамзитовых предприятий / В. М. Горин [и др.]. – Самара: ЗАО НИИ керамзит, 2004. – 112 с.
3. Торопков, Н. Е. Зависимость физико-химических свойств глинистого сырья в технологии керамзитов / Н. Е. Торопков // Международный научно-исследовательский журнал. - 2014. - № 2. - С. 52-54.
4. Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия : ГОСТ 32496-2013. – Введ. 2015-01-01– Москва : Изд-во стандартов, 2013. – 12 с.
5. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний : ГОСТ 9758-2012. – Введ. 2015.11.01. – Москва: Изд-во стандартов, 2012. – 67 с.

Научный руководитель: Каспер Е.А., доцент.

НАПОЛНЕНИЕ МАТРИЦЫ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

Матвеева М. А., магистрант, ritasurgut@gmail.com

Солонина В.А., канд. техн. наук, доцент, soloninava@tyuiu.ru

Илясова С.В., ассистент, iljasovasv@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Одним из способов улучшения физико-механических свойств композиционных материалов является наполнение матрицы цементного вяжущего высокодисперсными минеральными частицами различной природы и фракционного состава. Данная тема актуальна, потому что с использованием микронаполнителя улучшаются прочностные и деформативные характеристики материалов. Появляется возможность направленно формировать макро- и микроструктуру цементного композита, а также существенно снижать расход вяжущего вещества и расширять сырьевую базу за счет использования местного сырья. Целью работы является выявление оптимального количества наполнителя для получения плотной упаковки частиц в бетоне методом лазерной дифракции.

Ключевые слова: наполнитель, цемент, известняковая мука, зерновой состав, микроструктура.

На сегодняшний день к искусственным конгломератам предъявляются высокие эксплуатационные требования. И для обеспечения всех физико-механических свойств помимо химических добавок, уже в обязательном порядке входящих в состав цементных композитов, особое внимание следует уделять гранулометрическому составу мелкодисперсных компонентов – вяжущего и наполнителя.

Регулирование структуры бетонной смеси возможно не только на макро-, но и на микроуровне путем наполнения матрицы цементного вяжущего высокодисперсными минеральными частицами различной природы и фракционного состава. В современном строительстве наполненные бетоны и цементы становятся нормой [1,2].

Основная их структурная роль, как раз, и заключается в уплотнении системы твердеющего цемента.

Равномерное распределение компонентов в системе будет достигнуто, если частицы будут полидисперсны.

В данной работе выполнен подбор соотношения портландцементного вяжущего и наполнителя в зависимости от их дисперсности. Измерения размеров частиц исследуемых материалов осуществлялись на лазерном дифракционном анализаторе «Analysett 22».

В качестве наполнителя использовался тонкомолотый известняк. Зерновой состав исходных дисперсных материалов представлен на рисунке 1.

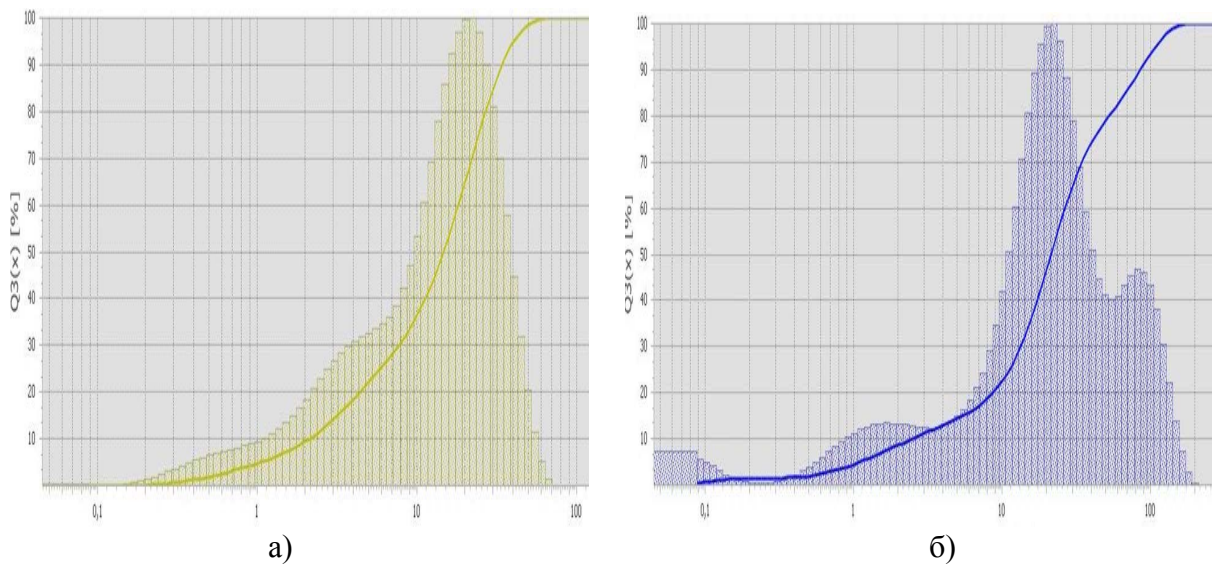


Рис. 1. Интегральная кривая размера частиц исходных материалов:
 а) портландцемент; б) молотый известняк

Для нахождения оптимального зернового состава с непрерывной гранулометрией были проанализированы композиции смесей:

№1 – молотый известняк 10% + цемент 90%;

№2 – молотый известняк 20% + цемент 80%.

Диаграммы полученных результатов представлены на рисунке 2.

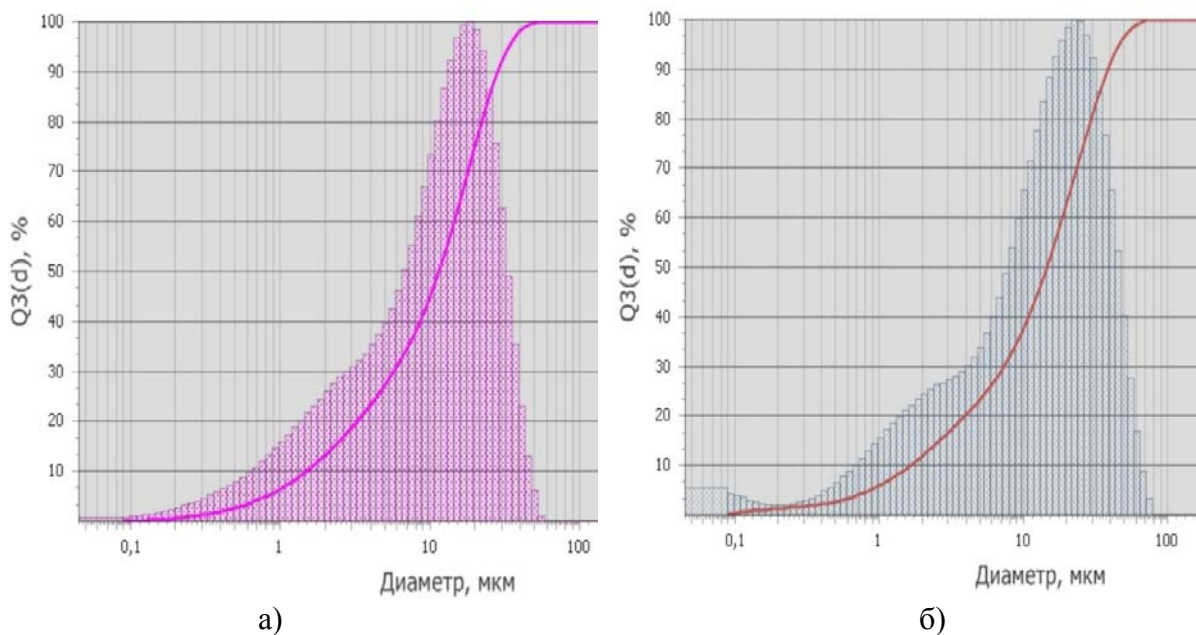


Рис. 2. Интегральная кривая размера частиц смесей: а) №1; б) №2

Процентное содержание частиц в дисперсных материалах отражено в таблице 1. В смеси с содержанием молотого известняка 20% зерна, большего размера, чем при анализе самого цемента. Это дает возможность получения фрактальной структуры в переходе размерности зерен цемента и кварцевого песка в составе бетонной смеси [3].

Таблица 1

Размеры частиц дисперсных материалов

Материал	Размер частиц, мкм в объеме пробы			
	10%	50%	90%	99%
портландцемент	2,12	14,75	34,23	52,07
молотый известняк	2,46	21,45	85,49	145,74
молотый известняк 10% + цемент 90%	1,48	11,39	28,12	42,79
молотый известняк 20% + цемент 80%	1,63	14,40	38,27	60,09

Из литературных данных [4] известно, что тонкомолотые карбонатные породы способствуют снижению водоотделения, уменьшению водопотребности и расслаиваемости смесей, повышению их водоудерживающей способности, пластичности, однородности, снижению усадки цементного камня. Положительный эффект от применения известняков объясняется тем, что они имеют с ним химическое сродство, что при естественном твердении ведет к образованию плотного контакта между ними и срастанию продуктов гидратации цемента с наполнителями. Важной их особенностью является то, что они реакционноспособны и вступают в активное физико-химическое взаимодействие с минералами портландцементного клинкера.

Введение наполнителя – молотого известняка способствует повышению удобоукладываемости и плотности бетонной смеси, снижению водопотребности, а также существенной экономии цемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, В. В. Строительные композиты из оптимизированных минеральных смесей. Монография / В. В. Белов, М. А. Смирнов - Тверь : ТвГТУ, 2012. - 112 с.
2. Белов, В. В. Модифицированные сухие общестроительные смеси оптимальной гранулометрии / В. В. Белов, М. А. Смирнов // Строительные материалы. - 2006. - № 10. - С. 65–67.
3. Шумков, А. И. Формирование и оптимизация структуры тяжелого бетона / А. И. Шумков // Технологии бетона. - 2008. - № 7. - С. 52–53.
4. Маилян, Р. Л. Бетон на карбонатных заполнителях / Р. Л. Маилян. - Ростов, 1967. – 54 с.

ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ

Матыс Е.Г., канд. экон. наук, доцент, matys_e@mail.ru;

Каспер Е.И., магистрант, katrin-96-kasper@mail.ru;

Тарасов Р.А., магистрант, alirtaras@gmail.com;

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Современное строительство не возможно без применения высокопрочных бетонов, технология которых основывается на управлении их структурой. В статье рассмотрены особенности получения и применения современных бетонов.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, модифицирующие добавки, структурообразование бетона.

Бетон является основным массовым конструкционным строительным материалом, обладающим совершенно уникальными свойствами. Поэтому проблема повышения его технических свойств, прочности и долговечности сохраняет свою актуальность.

В последние годы во всех индустриально развитых странах расширяется применение высокопрочного и высококачественного бетона прочностью на сжатие выше 60 МПа, что позволяет существенно снизить материалоемкость и повысить долговечность конструкций зданий и сооружений. Характерно, что в последнее десятилетие прочность бетона в конструкциях возросла до 130-150 МПа. Таким образом, начиная с 1965 года, прочность бетона увеличилась более чем в 2,0-2,5 раза.

Эффективные конструкции из высокопрочных бетонов составляют в России 0,5% от общего объема, в США - более 1,0% , в Норвегии - более 10%. В последние годы проводятся научные исследования, направленные на расширение использования высокопрочного бетона путем введения в их состав эффективных суперпластификаторов и ультрадисперсных наполнителей. В бетоноведении основное внимание в будущем будет уделяться получению качественных бетонов с высокой ранней и нормативной прочностью[1].

Отрицательно сказывается на развитии производства высокопрочных бетонов в нашей стране тот факт, что горнодобывающая промышленность не поставляет на строительный рынок чистые высокопрочные заполнители фракции 3-10 или 3-12 мм и обогащенные пески. Не освоено производство каменной муки с удельной поверхностью 3000-3500см²/г. Бетоносмесительные узлы не располагают достаточным количеством расходных бункеров и не оборудованы высокоскоростными смесительными установками.

Применение высокопрочных бетонов в несущих железобетонных элементах зданий позволяет снизить массу конструкций за счет уменьшения объема бетона, получить экономию цемента, а при равных размерах сечений можно сократить и расходы арматурной стали. Также значительно увеличивается производительность заводских станков без существенных изменений технологических способов производства.

Современный уровень технологий, основанный на использовании традиционных материалов и сложившейся производственной базой, позволяет получать бетоны с высокими физико-техническими характеристиками (класс по прочности В40-В80), высокой водонепроницаемостью (W12-20), безусадочностью и низкой ползучестью, повышенной коррозионной стойкостью и долговечностью[2].

С появлением высокопрочного бетона открылась «новая страница» в строительстве. В последние годы область его применения во всём мире очень сильно расширилась. Благодаря развитию технологий и появлению спроса на высокопрочный бетон стало возможным возведение высотных зданий с монолитным каркасом, большепролетных вантовых мостов с железобетонными балками жесткости, морских платформ и ряда других специальных уникальных сооружений.

Все более широкое применение высокопрочный бетон находит также в технологии сборного железобетона. Хотя максимальная прочность бетона сборных конструкций пока не достигла таких пределов, как в монолитных, однако за рубежом есть примеры применения преднапряженных железобетонных конструкций с прочностью до 80-100 МПа. Основной областью применения высокопрочного сборного бетона являются колонны и большепролетные балочные конструкции покрытий.

Технология высококачественных бетонов основывается на управлении структурообразованием бетона на всех этапах его производства с выполнением следующих условий:

1. Применение высокопрочных цементов и заполнителей, особенно эффективно применение композиционных вяжущих веществ;
2. Предельно низкое водоцементное отношение, что гарантированно обеспечивает высокую первоначальную структурную плотность;
3. Правильный подбор соотношения всех твердых компонентов;
4. Предельно допустимый расход цемента, обеспечивающий более полное заполнение порового пространства новообразованиями;
5. Применение суперпластификаторов и комплексных добавок;
6. Использование высокодисперсных активных минеральных наполнителей;
7. Введение наноэлементов для улучшения межфазового взаимодействия и упрочнения контактной зоны;

8. Особо тщательное перемешивание с применением механо-химической активации и уплотнение бетонной смеси с целью обеспечения её гомогенизации, однородности полученной структуры;

9. Созданием наиболее благоприятных условий твердения бетона.

В последние годы получают распространение органоминеральные модификаторы, состоящие из нескольких химических добавок различного назначения, которые дополнительно включают минеральную добавку. Такое сочетание зачастую приводит к синергетическому эффекту добавок, а также позволяет нейтрализовать возможные отрицательные последствия применения отдельной добавки (например, водоотделение при использовании суперпластификатора или повышенную водопотребность бетонной смеси с минеральной добавкой) [3].

Особое внимание в развитии бетоноведения будет уделяться получению высококачественных и конкурентоспособных материалов. К ним следует отнести быстротвердеющие бетоны с высокой ранней и нормативной прочностью, тонкодисперсные порошковые и дисперсноармированные бетоны с различного типа волокнами, а также самоуплотняющиеся бетоны.

Из различных видов бетона наиболее заметно в ближайшем будущем расширится применение мелкозернистого бетона. При правильно подобранном составе он характеризуется высококачественной структурой и высокой технологичностью, позволяя сравнительно просто изготавливать изделия как методом прессования с немедленной распалубкой, так и методом литья, что особенно удобно для монолитного домостроения. Кроме того, он легко и эффективно модифицируется с помощью органоминеральных добавок, что обеспечивает получение материалов с различным комплексом свойств. Его несомненным достоинством является использование дешевых песков местных карьеров, что позволяет снизить стоимость бетона на 15 – 25 % по сравнению с крупнозернистыми бетонами на заполнителе горной породы – щебне[4,5].

Получив название "материал XX века", бетон остается основным конструкционным материалом и в нашем веке. Интенсификация технологии бетонов с внедрением приема нанотехнологий в настоящее время относится к одному из актуальных и отвечающих современным требованиям направлений науки. Благодаря своим уникальным свойствам высокопрочный бетон будет широко востребован для решения различных практических задач в строительной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фаликман, В. Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны / В. Р. Фаликман // Бетон и железобетон. – 2011. - № 1 – С. 78-84.

2. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: научное издание / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. - Москва: АСВ, 2006. - 368 с.

3. Каспер, Е. А. Бетон плотной структуры с высокими показателями качества / Е. А. Каспер, К. И. Кувандыкова, Т. В. Максимова // материалы XV науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ. – Тюмень, 2015. – С. 46-51.

4. Каспер, Е. А. Быстротвердеющий высокопрочный мелкозернистый бетон / Е. А. Каспер, А. И. Селезнёва, Е. И. Каспер // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2017. – С. 126-129.

5. Каспер, Е. А. Мелкозернистые бетоны на основе сырьевых ресурсов Тюменской области / Е. А. Каспер, К. В. Черноусова, А. А. Позднякова // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2014. – С. 17-20.

Научный руководитель: Матыс Е.Г., к.э.н., доцент.

УДК 691.3

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ БЕТОНОВ

Матыс Е.Г., канд. экон. наук, доцент, matys_e@mail.ru;

Тарасов Р.А., магистрант, alirtaras@gmail.com;

Каспер Е.И., магистрант, katrin-96-kasper@mail.ru;

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В последнее время получило широкое распространение строительство с использованием монолитного железобетона. В данной статье рассмотрены особенности получения монолитных бетонов и, связанных с этим, условий производства работ. Кроме того, затронуты вопросы структурообразования бетона и способов его управления.

Ключевые слова: монолитный бетон, строительство, высокоподвижные бетонные смеси, структурообразование бетона.

Стратегия развития отрасли строительных материалов на период до 2020 года и последующая перспектива до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 10.05.2016 № 868-р, предусматривает создание современных высококачественных энергосберегающих и конкурентоспособных строительных материалов. В

ближайшее время одной из основных возможностей увеличения объема жилищного строительства в России является активное использование монолитных бетонов и совершенствование технологии их производства.

Монолитным называют железобетон, изготовленный непосредственно на строительной площадке. Впервые он был использован в строительстве более ста лет назад, получив широкое распространение во всем мире. Из него возводят высокие телевизионные башни и большепролетные мосты, многие высотные здания на разных континентах были построены с использованием монолитного железобетонного каркаса. Такие конструкции используются преимущественно в зданиях и сооружениях с нестандартными планировочными решениями и малой повторяемостью элементов, а также при больших нагрузках на конструкции зданий или сооружений.

В последнее время наблюдается снижение спроса на квартиры в домах из сборного железобетона и одновременный его рост на жилье в зданиях монолитного исполнения. Но в монолитном строительстве скрывается большое количество факторов, влияющих на сложность производства работ и обеспечение качества железобетонных конструкций. В первую очередь это обуславливается суровыми климатическими условиями Тюменской области, когда при строительстве требуется обогрев конструкций. Это приводит к огромным тепло- и энергопотерям в связи с несовершенством опалубочных систем [1].

Однако, в пользу монолитных зданий следует отнести главный фактор – снижение расхода бетона на 1 м² площади. Вдобавок к этому, положительной стороной является общее снижение транспортных расходов вплоть до отсутствия затрат на доставку крупногабаритных изделий. При сравнении с кирпичными домами следует отметить меньшие трудозатраты и продолжительность строительства у монолитных зданий на 30% и 10% соответственно. Также из монолитного железобетона можно возводить сооружения любой архитектурной формы и любых размеров.

Но существует ряд проблем, влияющих на обеспечение качества производства работ. Таких как недобор прочности конструкций при отрицательных температурах, наличие технологических и "холодных" швов при прерывании бетонирования конструкций, неточность геометрических размеров.

В процессе эксплуатации монолитные конструкции часто подвергаются воздействию агрессивных сред, следовательно, бетоны, применяемые для их изготовления, должны обладать плотной структурой, при этом водоцементное отношение не должно превышать 0,45, а водопоглощение – 4,2%. К тому же на качество итоговой конструкции будут влиять класс бетона, скорость набора прочности, марка по водонепроницаемости и морозостойкости. А также особое внимание следует уделять удобоукладываемости бетонной смеси, так как зачастую

монолитные конструкции густоармированы. Исходя из этого, получение бетонов с высокими прочностными показателями в проектном возрасте на высокоподвижных бетонных смесях, с обеспечением сохранности свойств во времени и интенсивной кинетикой набора прочности бетона в ранние сроки твердения, является актуальной проблемой при возведении монолитных конструкций [2].

В современном строительстве монолитные бетоны – это, в большинстве своём, цементные бетоны с плотностью 2100-2700 кг/м³, которые чаще всего изготавливаются на природных каменных заполнителях из плотных горных пород. Бетоны с применением техногенного сырья для монолитного строительства в нашей стране до сих пор используют редко, несмотря на известные успешные примеры их применения в конструкциях промышленных и транспортных сооружений и, в особенности, домостроении. Ограниченный опыт возведения сооружений из монолитного бетона с техногенными отходами и малый объем исследований по технологии производства работ не позволяют пока сделать широкие обобщения и использовать практические рекомендации в этой области. Также следует отметить, что во многих западных странах такие техногенные отходы, как шлак, перерабатываются в полном объеме, в то время как в России просто создаются полигоны, на которых годами хранятся неиспользуемые горы шлака. Всё это говорит о большой перспективности применения данного бетона для одновременного улучшения качества и уменьшения стоимости конструкций [3].

Для получения бетонов с различными свойствами необходимо целенаправленно управлять их структурообразованием, так как именно структура материала определяет его свойства. В настоящее время появилось новое сырьё и технологические возможности получения бетонов с разными показателями качества. В современном строительстве требования к бетону, как одному из основных строительных материалов, настолько выросли, что классический состав бетона (цемент + мелкий заполнитель + крупный заполнитель + вода) не в состоянии обеспечить требуемые свойства. Поэтому для направленного их регулирования в бетонную смесь вводят модифицирующие добавки, которые позволяют в широких пределах изменять технологические возможности, повышать строительно-технические характеристики бетонов и также придавать им новые свойства.

Необходимость использования высокоподвижных и литых бетонных смесей при монолитном строительстве зданий и сооружений сопровождается рядом проблем: увеличенным расходом цементного вяжущего, значительным водоотделением в процессе формирования изделий, применением дорогостоящих добавок, и как следствие, существенным повышением себестоимости. Одним из наиболее эффективных способов решения этой проблемы является введение в состав бетона

пластификаторов и тонкоизмельченных минеральных добавок, которые способны заменить часть более дорогого цементного вяжущего.

Высокодисперсные активные минеральные наполнители в пластифицированных цементных системах с низким содержанием воды влияют на условия формирования структуры и модификации свойств бетонов. В результате открывается новое направление в технологии бетона, реализующее значительные потенциалы сбережения цемента, повышения прочности, долговечности и улучшения ряда других свойств бетона. Для управления структурообразованием бетона используется высокомарочный портландцемент или композиционные вяжущие, комплексы химических модификаторов структуры и свойств бетонов, активные дисперсные минеральные компоненты и наполнители. При производстве бетона используется интенсивная технология, обеспечивающая точность дозирования, тщательное перемешивание и гомогенизацию смеси.

Использование суперпластификаторов дает возможность заменить дефицитные высококачественные цементы рядовыми и ускорить нарастание отпускной прочности железобетонных конструкций. В свою очередь уменьшается потребность в металле, обеспечивается сохранение свойств с течением времени, а так же наблюдается отсутствие расслоения, раство- и водоотделения [4].

В последнее время становится актуальным применение органоминеральных добавок. В них объединяются в единую систему дисперсные и химические минеральные добавки-наполнители. При этом добиваются более эффективного воздействия на структурообразование бетона, и получают наилучшие результаты модификации структуры и свойств бетона. В итоге возрастает структурная однородность и плотность, что в свою очередь также ведёт к увеличению скорости набора прочности. В свою очередь, это дает возможность расплубливать конструкцию, и переходить к возведению последующих ярусов здания в более ранние сроки, что является основополагающим фактором в монолитном строительстве.

Применение и комбинирование рассмотренных выше добавок и наполнителей, правильный подбор состава бетонной смеси, надлежащая организация производства работ и использование обоснованных приемов приготовления и укладки бетонной смеси – напрямую влияет на качество будущих зданий и сооружений, а также на технико-экономические показатели строительства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: научное издание / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников - Москва : Издательство ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.

2. Каспер, Е. А. Влияние пластифицирующих добавок на свойства монолитного бетона для фундаментных конструкций / Е. А. Каспер, К. И. Кувандыкова, Е. И. Каспер // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (посвященной 60-летию ТИУ). – Тюмень, 2016. - С. 35-38.

3. Каспер, Е. А. Влияние добавок пластифицирующего типа на кинетику твердения бетона / Е. А. Каспер, О. С. Бочкарёва, А. А. Сидельникова. // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (посвященной 60-летию ТИУ). – Тюмень, 2016. – С. 32-35.

4. Каспер, Е. А. Бетон плотной структуры с высокими показателями качества / Е. А. Каспер, К. И. Кувандыкова, Т. В. Максимова. // сборник материалов XV науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ. – Тюмень, 2015. – С. 46-51.

Научный руководитель: Матыс Е.Г., канд. экон. наук, доцент.

УДК 691

МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ В СОСТАВЕ ВЯЖУЩЕГО НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ

Суровцев И.А., магистр, v-surovtsev22@mail.ru

Солонина В.А., канд. техн. наук, доцент, soloninava@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Вяжущие низкой водопотребности являются альтернативой портландцементу. В статье рассмотрены минеральные компоненты в составе вяжущего низкой водопотребности, а также их влияние на реологические свойства цементного теста и прочность искусственного камня. В составе цементной матрицы мелкодисперсные частицы кварцевого песка и известняка выступают в качестве подложки при кристаллообразовании эпитаксиальных слоев на их поверхности.

Ключевые слова: вяжущее низкой водопотребности, портландцемент, известняк, кварцевый песок, реологические свойства, прочность.

Вязущее низкой водопотребности (ВНВ) получают путем совместного помола минеральных компонентов и портландцементного клинкера (или готового гидравлического вяжущего) в присутствии химических добавок [1]. В данной работе в качестве компонентов ВНВ применялся портландцемент с истекшим гарантийным сроком (наличие комков диаметром до 10 мм); минеральные компоненты - кварцевый песок, известняковая мука; пластификатор ПФМ-НЛК (сухой) и интенсификатор помола ТЭА.

Целью работы являлось выявление влияния минеральных компонентов на реологические свойства теста ВНВ и прочность полученного искусственного камня.

Рассматриваемые минеральные материалы не обладают гидравлической и пуццоланической активностью. В составе цементной матрицы мелкодисперсные частицы кварцевого песка и известняка выступают в качестве подложки при кристаллообразовании эпитаксиальных слоев на их поверхности.

Преимущество структуры цементной матрицы с минеральным наполнителем состоит в том, что в ней локализуются внутренние дефекты (капиллярные поры, микротрещины и макропоры), а также в том, что уменьшение их количества и размеров снижает концентрацию напряжений [2,3].

Из указанных материалов были изготовлены составы ВНВ с различным видом и количеством минерального компонента (таблица 1) и далее готовилось тесто с постоянным показателем водопотребности 26%.

Таблица 1

Составы ВНВ

Номер состава	Содержание минерального компонента	Цемент, г	Кварцевая мука, г	Известняковая мука, г
0	0%	200	-	-
1	20%	160	40	-
2	30%	140	60	-
3	20%	160	-	40
4	30%	140	-	60

При введении в любую цементную смесь минеральных или химических добавок происходит неизбежное изменение реологических свойств. Изменение реологических свойств цементного теста можно проследить методом пенетрации на приборе Рэбиндера путем фиксации глубины погружения конуса и последующего расчета по формуле 1.

$$\tau_0 = (R_\alpha * P) / h^2, \quad (1)$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; h – величина погружения конического наконечника, м; P – усилие пенетрации, 2,97Н; R_α – константа, 2,07 (угол конического наконечника 20°).

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Величина предельного напряжения сдвига			
Номер состава	Количество добавки	Глубина погружения конуса (h), м.	Предельное напряжение сдвига (τ_0), МПа.
0	0%	0,016	0,024
1	20%	0,0075	0,109
2	30%	0,006	0,171
3	20%	0,019	0,017
4	30%	0,026	0,009

Анализируя полученные результаты пенетрации можно сделать выводы о том, что при увеличении количества кварцевого компонента уменьшается вязкость системы: глубина погружения конуса уменьшается, а сопротивление сдвигу увеличивается. При увеличении содержания молотого известняка происходит обратный эффект: глубина погружения конуса увеличивается, а сопротивление сдвигу уменьшается, система цемент + известняк становится более пластичной.

Из полученного теста всех составов формовались образцы, твердение которых протекало в воде в течение 28 суток.

Результаты испытания образцов на сжатие представлены на Рис. 1.

Молотый кварцевый песок в составе ВНВ не дает прироста прочности. Присутствие молотого известняка не дает ощутимого прироста прочности, однако он меняет реологию системы, придавая цементному тесту большую пластичность.

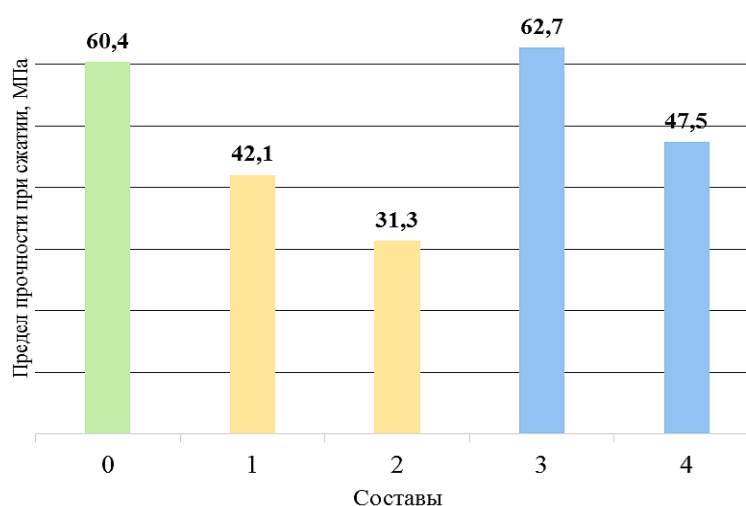


Рис. 1. Предел прочности при сжатии образцов кубов

Положительное влияние карбонатных наполнителей в цементной системе объясняется их химическим родством, что при естественном твердении ведет к образованию плотного контакта между ними и срастанию продуктов гидратации. Важной особенностью карбонатных пород является то, что они вступают в физико-химическое взаимодействие

с клинкерными минералами цемента, участвуя в формировании структуры цементного камня. Тонкомолотый известняк способствует уменьшению водоотделения, водопотребности и расслаиваемости смесей, повышению их водоудерживающей способности, однородности, пластичности, снижению усадки, а также улучшает водо-, кислото-, и морозостойкость раствора [5].

Применение известняка в качестве минерального компонента в составе ВНВ целесообразно для создания оптимальной структуры цементного камня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суровцев, И. А. Разработка состава вяжущего низкой водопотребности / И. А. Суровцев // сборник материалов XX научно-образовательной конференции студентов ТИУ. – Тюмень, 2016. – С. 264-270.

2. Королев, Е. В. Строительные материалы вариативно-каркасной структуры: монография / Е. В. Королев, Ю. М. Баженов, В. А. Смирнов – Москва : МГСУ, 2011. – 316 с.

3. Изотов, В. С. Формирование структуры и свойств бетонов на активированных смешанных вяжущих [Рукопись] : дис. ... д-р. техн. наук : 05.23.05 / В. С. Изотов. - Казань, 2004. - 431 с.

4. Маилян, Р. Л. Бетон на карбонатных заполнителях / Р. Л. Маилян – Ростов: Издательство Ростовского университета, 1967. – 224 с.

УДК 621.6

ПОВРЕЖДЕНИЕ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА И МЕТОДЫ ЕГО РЕМОНТА

Сыч К. М., магистрант, kseniya_sych@bk.ru

Артёмов А. Ю., магистрант, artemov1995a@mail.ru

Калимуллина Д. С., магистрант, kalimullinad@inbox.ru

г. Омск, Омский государственный технический университет

Аннотация. Неисправность подводного трубопровода может привести к огромному экономическому и экологическому ущербу. Исследования по методу аварийного ремонта глубоководных трубопроводов очень важны для безопасной добычи морской нефти. В этой статье обсуждаются повреждения глубоководных трубопроводов и их виды. Было рассмотрено необходимое оборудование, используемое при ремонте, и были предложены некоторые типичные ремонтные процессы

Ключевые слова: глубоководный трубопровод, повреждение, оборудование, техника.

Трубопроводный транспорт считается одним из самых быстрых, безопасных и дешевых способов транспортировки нефти и газа.

Но постоянное увеличение глубины воды бросает вызов подходам аварийного обслуживания к отказу морского трубопровода.

В глубоководном нефтепроводе развитие небольшого повреждения может привести к огромной катастрофе, включая как экономическую, так и экологическую.

Существует три категории причин, приводящих к повреждению подводного трубопровода: начальные дефекты, экологические нагрузки и дополнительные нагрузки.

Неисправность материала, дефект сварки и чрезмерное остаточное напряжение, вызванное конструкцией, производство и установка могут привести к концентрации напряжений в трубопроводе и в конечном итоге привести к отказу. Со временем трубопровод может столкнуться с большой деформацией или местным или полным выпучиванием из-за различных экологических нагрузок или их комбинации. Трубопровод может быть поврежден из-за падения с судов посторонних предметов, якоря судна и глубоководного течения, что приведет к вмятинам и большой деформации.

В настоящее время спроектированы, изготовлены и широко применяются в мире следующие типы ремонтных муфт для выполнения соединений трубопроводов под водой:

- соединительная муфта;
- фланцевый адаптер;
- адаптер под приварку;
- концевая заглушка.

Данные муфты проектируются с учетом необходимости выдерживать внутреннее рабочее давление среды трубопровода, а также все иные нагрузки, возникающие в трубопроводе в процессе эксплуатации. Материалы элементов муфты должны быть инертными к транспортируемому продукту. Муфты являются постоянным соединением, не требующим замены в течение всего срока службы трубопровода, но вместе с тем могут быть сняты и использованы снова. Конструкция подобных муфт предполагает: осуществление монтажа на трубопровод механическим способом, наличие системы, предотвращающей разрыв трубопровода, возможность проведения испытаний на герметичность и прочность давлением в затрубном пространстве без проведения испытаний с повышением давления в самом трубопроводе.

Ремонтные муфты представляют собой наборную систему из металлических кольцевых элементов, выполняющих свою конкретную

функцию и фиксирующихся в единую конструкцию при помощи комплекта резьбовых крепежных элементов.

Подводя итог можно прийти к выводу, что для поврежденных подводных трубопроводов подходящий метод ремонта зависит от: повреждения и глубины, на которой находится трубопровод.

Для различных повреждений подводного трубопровода применяют различные методы ремонта и соответствующее оборудование. Своевременное техническое обслуживание обеспечивает, целостность трубы, что предотвращает разлив

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эксплуатация и ремонт морских трубопроводов [Электронный ресурс] // Нефтегаз. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/view/1114-Ekspluatatsiya-i-remont-morskih-truboprovodov>

2. Занин, А. В. Оценка риска трубопроводного транспорта углеводородов / А. В. Занин, А. А. Мильке, И. Н. Квасов // Метрология, стандартизация, качество: теория и практика: материалы Международной научно-технической конференции. – Омск, 2017. – С. 177-184.

УДК 504.06:628.58:691,17

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИГИЕНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕЗИНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Хайров Д. С., ассистент, dilovar_0007@mail.ru

г. Душанбе, Таджикский технический университет имени М. Осими

Аннотация. Современный мир и технологии невозможно представить без использования разнообразных продуктов из резины и каучуков. Резина и резиновые изделия исключительно широко используются в различных областях народного хозяйства и в повседневной жизни: от современных транспортных и резинотехнических изделий до широко - потребительских товаров. Поэтому этот вид промышленности быстро развивается, что влечет за собой одновременное увеличение количества резиновых отходов. Отходы стали серьезным источником загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: резина, пыль, аэрозоли, загрязнения воздух, производства.

Резиновое производство отличается повышенной опасностью как для работающих, так и для проживающих в близлежащих домах. Это обуславливается тем, что при производстве резиновых изделий в воздух выделяются самые разнообразные вещества-летучие ингредиенты и

главным образом продукты химических превращений ингредиентов при вулканизации. Из-за разнообразия используемых ингредиентов проблемы экологической безопасности особенно важны применительно к производству резинотехнические изделия. Резинотехнические изделия идентифицировано более 300 соединений [1].

Для снижения уровня загрязнения воздуха производственное помещение должно быть оборудовано эффективной приточно-вытяжной вентиляцией, средствами тушения огня, иметь легко доступный неограниченный источник теплой чистой воды. Загрязнение воздуха может происходить на разных стадиях производства.

При подготовке ингредиентов, которая включает высушивание, просеивание, развешивание, основным видом загрязнения является пыль. Поэтому при ручном труде необходимо работать в респираторах, рабочей легко сменяемой одежде, тканевых перчатках.

При приготовлении резиновых смесей на открытых вальцах или в закрытых резиносмесителях во время загрузки в воздух может выделяться пыль ингредиентов. При смешении на вальцах вследствие местных напряжений в смеси могут происходить выбросы пыли и аэрозоля. При выгрузке горячей резиновой смеси из камеры смешения резиносмесителя интенсивно выделяются пары и аэрозоли. Если при подготовительных операциях использование гранулированных ингредиентов практически исключает образование пыли, то при смешении на вальцах из-за дробления гранул пыления избежать не удастся [2,5].

При вулканизации, сопровождающейся многочисленными химическими реакциями, в смеси образуются новые вещества, среди которых могут быть токсичные, выделяющиеся в воздух соединения.

При контроле готовых изделий путем визуального обследования может проявляться двоякая опасность: при непосредственном контакте с резиной и при воздействии на кожу, органы дыхания и глаза паров летучих веществ с поверхности резины [3].

При складском хранении большого количества готовых изделий даже в вентилируемом помещении в воздухе находятся пары летучих веществ, выделяющихся с поверхности резины. Возможные виды загрязнения воздуха и меры их снижения приведены в Табл.1.

Особая опасность при выделении аэрозолей. При производстве резин образуются аэрозоли двух типов: первичные и вторичные (аэрозоли конденсации).

Первичные аэрозоли представляют собой аэрозоли масел, пластификаторов и остатков летучих олигомеров каучука. Они образуются при изготовлении резиновых смесей на вальцах и в смесителях вследствие местных перенапряжений и перегревов.

Таблица 1

Возможные виды загрязнения воздуха и меры их снижения

<i>Стадия производства</i>	<i>Вид загрязнения воздуха</i>	<i>Источник загрязнения воздуха</i>	<i>Меры снижения загрязнения воздуха</i>
Подготовка ингредиентов	Пыль	Твердые ингредиенты	Автоматизация процессов, применение гранулированных ингредиентов
Приготовление резиновых смесей	Пыль, аэрозоли	Твердые ингредиенты, пластификаторы	Эффективная вентиляция, применение закрытых смесителей, оптимальная температура смешения на вальцах
Вулканизация	Пары, аэрозоли	Летучие ингредиенты, продукты превращения ингредиентов	Минимально возможная температура вулканизации, быстрое охлаждение готовых изделий, эффективная вентиляция
Контроль готовых изделий	Вещества на поверхности изделия, пары	Масла, пластификаторы, продукты термического превращения	Автоматизация, защита кожных покровов и слизистых оболочек, бесконтактные методы контроля
Хранение готовых изделий на складах	Пары	Продукты термического превращения ингредиентов	Эффективная вентиляция, кратковременное пребывание людей в помещении

Вторичные аэрозоли образуются при открывании горячей пресс-формы из-за конденсации паров летучих ингредиентов и продуктов их превращения при охлаждении этих паров в воздухе. Микрокапли этих аэрозолей также могут содержать летучие вещества, хотя и меньше, чем первичные аэрозоли [2,4].

Аэрозоли опасны тем, что их микрокапли вбирают в себя все вещества, растворимые в жидкой основе аэрозоля, а не только летучие вещества, образующие пары. При вулканизации резиновой смеси на основе БНК с пластификатором диоктилфталатом и сернотиурамной вулканизирующей системой в аэрозоле конденсации образуются следующие вещества (%): диоктилфталат- 85%, фталевый ангидрид-2%, октиловый спирт-1%, сероуглерод-1%, диметиламин -1%, тиураммоносульфид -1%, производное бензохинолина -1%, тетраметилтиомочевина -1%, олигомеры каучука – 4%, неидентифицированные шесть соединений-3%.

Для обозначения опасности загрязняющих веществ используют аббревиатуру LD и ПДК:

LD- количество вещества в мг на 1 кг массы животного, которое вызывает смертность 50% испытуемых животных;

ПДК з - предельно допустимая концентрация вещества в рабочей зоне помещения, не вызывающая отрицательных симптомов при нахождении людей в этом помещении в течение 6-8 ч ежедневно, кроме выходных. ПДК используется главным образом в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ровкина Н. М. Основы химии и технологии клеящих полимерных материалов: учеб. пособие. / Н. М. Ровкина, А. А. Ляпков. - Томск: Изд-во ТПУ, 2005. - 104 с.

2. Сутягин В. М. Общая химическая технология полимеров: учебное пособие / В. М. Сутягин, А. А. Ляпков. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. - 195 с.

3. Семчиков Ю. Д. Высокомолекулярные соединения: учеб. для вузов. - Москва: Академия, 2005. - 368 с.

4. Савельянов В. П. Общая химическая технология полимеров: учеб. пособие / В. П. Савельянов. – Санкт- Петербург: Профессия, 2000. - 273 с.

5. Крыжановский В. К. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко. - Санкт- Петербург: Профессия, 2004. - 464 с.

УДК 691.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Чукомина А.Ю., магистрант, n-a-s-t-a-s-i-a@mail.ru

Каспер Е.И., магистрант, katrin-96-kasper@mail.ru

Зайцева В.А., магистрант, vzaitseva95@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. По результатам научных исследований полученных в лабораторных условиях был получен метакаолин, который использован в качестве эффективного ультрадисперсного модификатора цементных композитов. Изучено его влияние на физико-механические свойства и кинетику набора прочности цементного камня. Установлено, что эффект, от полученной добавки, существенно отличается от всех имеющихся настоящие время добавок в лучшую сторону. Это связано с тем, что алюмосиликатная природа метакаолина приводит к образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, что способствует уплотнению и упрочнению структуры бетона, снижению его капиллярной пористости.

Ключевые слова: микронаполнитель, метакаолин, прочность на сжатие, водопоглощение

Активные минеральные добавки используются уже многие десятилетия для модификации составов на основе портландцемента для повышения прочности, долговечности, непроницаемости и химической стойкости получаемых материалов и конструкций [1].

В последнее время в качестве минеральной тонкодисперсной добавки стали применять высокоактивный метакаолин (МтК), который производится из чистых каолинитов. Метакаолин - это порошок от белого до серовато бежевого или розового цветов со средним размером частиц 1–5 мкм. В отличие от других активных минеральных добавок МтК является алюмосиликатной пуццолановой добавкой и его пуццолановая активность носит смешанный алюминатно-кремнеземистый характер. Алюминатные составляющие метакаолина обеспечивают высокую раннюю и конечную прочности бетона, а также стойкость к усадочным деформациям. Кремнийсодержащая часть добавки, за счет регулирования структурообразования изменением щелочной среды, обеспечивает долговечность материала[2].

Опыт использования метакаолина в России еще не популярен. Но уже первые результаты его промышленного применения и лабораторные исследования позволяют сделать вывод о большом применении этого материала в промышленности строительных материалов и стройиндустрии.

Исходные материалы:

- Вяжущее – портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н Сухоложского цементного завода;

- Каолин – производства «Новокаолиновый горнообогатительный комбинат» (Челябинская область). Он был использован для получения в лабораторных условиях метакаолина путём обжига обогащенного каолина в муфельной печи при температуре 750°C в течение 1 часа.

Кристаллическая структура исходного гидрослюдистого минерала состоит из слоев тетраэдрического SiO_4 и октаэдрического AlO_6 и в процессе термообработки преобразуется в аморфную ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) с сохранением пластинчатой формы частиц.

Данные о гранулометрическом составе тонкодисперсных компонентов были получены с помощью прибора дифракционного анализатора частиц Fritsch «Analysette 22». По ним были рассчитаны полные проходы фракций цемента, каолина и метакаолина через условные сита, размеры которых соответствуют размерам фракций, определяемых лазерным анализатором (таблица 1).

Гранулометрический состав метакаолина имеет большую дисперсность, что позволяет заполнять пустоты между зёрнами цемента и способствовать формированию более плотной упаковки системы

«вяжущее – наполнитель», и, следовательно, положительно влиять на структуру цементного камня.

Таблица 1

Интегральные кривые рассева тонкодисперсных компонентов

Наименование материала	Полные проходы, %, через сита, мкм										
	0,2	0,35	0,65	1,0	2,5	4,0	8,0	15,0	30,0	55,0	100,0
ЦЕМ I 42,5Н	0,7	1,7	2,9	3,9	7,8	11,7	23,7	44,7	72,5	95,1	100,0
Каолин	0,4	1,1	2,9	5,7	18,7	28,6	47,0	68,3	88,8	99,0	100,0
Метакаолин	0,2	0,8	2,2	4,3	16,8	28,9	54,5	80,0	95,0	99,8	100,0

В результате проведённой лазерной гранулометрии каолина до и после обжига было установлено - наблюдается дегидратация исходного продукта и уменьшение удельной поверхности частиц. Это объясняется тем, что связи между ионами в кристаллической решётке слабеют, удаляется химически связанная вода и получается аморфный метакаолин.

Нагревание метакаолина до температуры выше 925-950°C приводит к образованию муллита с примесью кристобалита и разрушению аморфной структуры.

Для определения оптимальной дозировки метакаолина были изготовлены образцы 2,0x2,0x2,0см, твердеющих в естественных условиях. Добавка вводилась в процентах от массы цемента. Диапазон дозирования варьировался от 2,5 до 5%. Оценка удобоукладываемости цементного теста определялась по расплаву конуса при определении нормальной консистенции цементного раствора по ГОСТ 310.4-81.

Таблица 2

Влияние дозировки метакаолина на физические свойства цементного камня

№ состава	Расход МтК, %	Расход воды, мл	В/Ц	Водопоглощение, %	
				по массе В _м	по объёму В _v
1	2	3	4	5	6
Контрольный	-	79	0,263	11,9	23,3
2.1	2,5	84	0,280	12,6	24,5
2.2	3,75	86	0,286	11,2	22,7
2.3	5,0	90	0,30	10,6	21,3

Расход цемента – 0,3 кг; расплыв конуса 113 мм

В международной практике оценка механических характеристик бетона несущих конструкций, высокопрочных бетонов определяется по двум параметрам:

- Прочность при сжатии путем испытания образцов кубов;
- Прочность при сжатии по результатам испытания образцов в форме призм.

Значение трещиностойкости бетона в российских стандартах не регламентируется и может оцениваться как отношение прочности на

растяжение при изгибе к прочности на сжатие - $R_{изг}/R_{сж}$. В международной практике для оценки этой характеристики используют показатель хрупкости – это отношение призмочной прочности к прочности на сжатие - $R_{пр}/R_{сж}$.

Таблица 3

Влияние дозировки метаксаолина на механические свойства цементного камня

№ состава	Расход МтК, %	Прочность на сжатие, МПа			Δ R _{сж}			R _{пр} , МПа	R _{пр} /R _{сж}
		2 сут	7 сут	28 сут	2 сут	7 сут	28 сут		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Контр	-	18,3	23,7	40,7	-	-	-	33,4	23,3
2.1	2,5	21,3	32,0	45,9	16,4	35,0	12,8	36,7	24,5
2.2	3,75	26,5	42,4	52,5	44,8	78,9	29,0	41,0	22,7
2.3	5,0	34,0	58,6	70,8	85,8	147,3	74,0	53,1	21,3

При введении метаксаолина наблюдается наибольший прирост прочности бетона на сжатие уже в ранние сроки твердения бетона. При оптимальной дозировке метаксаолина - 5 % прирост прочности на сжатие через 2 суток составил 85,8%, а через 28 суток –74,0 %.

Применение добавки метаксаолина, способствует образованию новых гидратных фаз: активный кремнезем реагирует с известью, образуя низкоосновные гидросиликаты кальция, при этом активный глинозем образует стабильные гидроалюминаты, гидрогранаты (C-S-H, C₄AH₁₃, C₃AH₆, C₂ASH₈ и т.д). В результате реакции ионов Ca²⁺ и Al³⁺ с аморфным кремнеземом метаксаолина образуются новые соединения, в том числе, прочный минерал стратлингит C₂ASH₈[3,4].

В результате проведенной научной работы было выявлено, что алюмосиликатный микронаполнитель имеет большую дисперсность, что позволяет ему располагаться между зернами вяжущего, тем самым способствует уплотнению цементного камня и положительно влиять на его структуру. Аллюминатные составляющие этой добавки обеспечивают высокую раннюю и конечную прочности бетона, а также стойкость к усадочным деформациям. Кремнийсодержащая часть добавки способствует изменению щелочной среды цементных композитов, обеспечивает долговечность материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашникова. – Москва : изд. АСВ, 2006. - 368 с.
2. Каспер, Е. А. Быстротвердеющий высокопрочный мелкозернистый бетон / Е. А. Каспер, А. И. Селезнёва, Е. И. Каспер

// Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень, 2017. – С. 126-129.

3. Каспер, Е. А. Влияние добавок пластифицирующего типа на кинетику твердения бетона / Е. А. Каспер, О. С. Бочкарёва, А. А. Сидельникова. // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы десятой международной научно-технической конференции (посвященной 60-летию ТИУ). – Тюмень, 2016. – С. 32-35.

4. Каспер, Е. А. Бетон плотной структуры с высокими показателями качества / Е. А. Каспер, К. И. Кувандыкова, Т. В. Максимова // материалы XV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ в двух томах.– Тюмень, 2015. – С. 46-51.

Научный руководитель: Каспер Е.А., доцент.

УДК 625.856

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА МЕТОДОМ ФОТОКОЛОРИМЕТРИИ

Ястремский Д.А., аспирант, yaster.dmitry@yandex.ru

Абайдуллина Т.Н., канд. техн. наук., доц., tn28@mail.ru

Шабанова Ю.Н., аспирант, js205@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: Одним из наиболее эффективных методов повышения сопротивления покрытий автомобильных дорог развитию различного рода разрушений и деформаций является использование дисперсно-армированных строительных материалов. В силу неизбежности процессов старения органического вяжущего коагуляционная структура частично переходит в конденсационную, поэтому физико-механические свойства материала со временем значительно ухудшаются. Для решения этой проблемы в дорожном строительстве используют щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси, основным отличием которых является присутствие в их составе стабилизирующих добавок. Их основная задача адсорбировать на своей поверхности свободный битум и структурировать асфальтобетонную смесь. Для определения механизма действия добавок на свойства битумного вяжущего и асфальтобетона в данной работе был применен метод фотоколориметрии.

Ключевые слова: стабилизирующая добавка, органическое вяжущее, битум, фотоколориметр, адсорбция.

Введение. Комплексное воздействие динамических нагрузок, природно-климатических факторов, агрессивных сред, не позволяет обеспечить долговечность верхних слоёв дорожного покрытия и приводят к преждевременным разрушениям. Для решения данной проблемы в России применяют щебеночно-мастичные асфальтобетоны (ЩМА). В работах Кирюхина Г.Н., Смирнова Е.А., Баранова И.А., Костина В.И. показано, что основным преимуществом ЩМА являются высокая сдвигоустойчивость, высокое значение коэффициента сцепления с колесом автомобиля, высокое сопротивление постоянной деформации, устойчивость к старению [1-3].

Одним из основных отличий дорожных покрытий на основе ЩМА от других видов асфальтобетона является наличие в его составе стабилизирующих добавок (СД), которые используются для повышения устойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (ЩМАС) к расслаиванию при транспортировании и укладке. Одним из важнейших свойств СД, определяющих дальнейшую работу асфальтобетонного покрытия, являются её адсорбционные способности. Поскольку мало исследованы влияния различных добавок на свойства битума, вопрос обоснования применения СД и изучение процессов структурообразования в ЩМАС является актуальным [3-6].

Так как стандартные методики оценки сцепления битума с волокнами СД не позволяют дать количественную оценку адсорбции битума, в данной работе был применён метод исследования с помощью фотоколориметра ЛМФ-72.

Методология. Суть фотоколориметрического метода заключается в измерении коэффициента пропускания и оптической плотности воды через светофильтр с длиной волны 650 нм.

Подготовка образцов к исследованию оптической плотности и определения адсорбционной способности проходила следующим образом. Была отобрана навеска стабилизирующей добавки «Армидон». Характеристики добавки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики стабилизирующей добавки

№ п/п	Характеристики	Значение
1	Насыпная плотность, кг/м ³	500-560
2	Средняя длина волокон, мм	1,4
3	Средний диаметр волокон, мм	0,029
4	Содержание волокон длиной от 0,1 – 2 мм	89±5%
5	Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве, не более	1,7-3,2%

Добавку измельчали в ступке до волокнистого состояния. После чего перемешивали с битумом марки БНД 90/130, разогретым до 130 °С.

Смесь перемешивали в течении 15 минут до полного обволакивания волокон СД органическим вяжущим.

Основная часть. Для определения сцепления битума с целлюлозным волокном был использован метиленовый голубой, который выступает в роли красителя и адсорбируется на поверхности целлюлозного волокна, не адсорбируясь при этом на поверхности, покрытой битумом. Метиленовый голубой выступает в роли сорбента на поверхности волокон, не пропитанных битумом, который при щелочных значениях РН, вступает в реакцию с гидроксильными группами волокон целлюлозы, образуя ковалентные связи, окрашивая стенки растительных клеток [9].

Целлюлозное волокно после обработки битумом и выдержки в течении 24 часов на воздухе кипятили в стакане с дистиллированной водой в течение 30 мин. После извлечения волокон добавки в воду добавляли подготовленный раствор с метиленовым голубым. Для оценки оптической плотности был выбран светофильтр красного цвета под номером 4, с длиной волны 650 нм, что является оптимальной для раствора, окрашенного в синий цвет. Результаты измерения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Фотоколориметрические показатели

№ п/п	Показатель	Номер светофильтра	λ , нм	Фактические значения
1	Сила тока, μA	4	650	43
2	Оптическая плотность, D			0,34
3	Коэффициент пропускания, %			46

Выводы. В ходе проведения исследований установлена оптическая плотность, равная 0,34 при коэффициенте пропускания 46%. Таким образом можно сделать вывод, что волокно стабилизирующей добавки «Армидон» обладает хорошей адсорбционной способностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин, В. И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий / В. И. Костин. – Нижний Новгород: НГАСУ, 2009. – 67 с.
2. Кирюхин, Г. Н. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона / Г. Н. Кирюхин, Е. А. Смирнов. – Москва : Элит, 2009. – 176 с.
3. Баранов, И. А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного

асфальтобетона [Рукопись] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / И. А. Баранов. – Орел, 2015. – 176 с.

4. Emery, J. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements / J. Emery, C. Woodman, R. Burlie. - Toronto, Ontario, Canada, 1997 – 97 p.

5. Kandhal, P. S. NAPA (National Asphalt Pavement Association) Designing and Constructing SMA Mixtures. State of the Practice. QIP 122 / P. S. Kandhal. – Lanham, Maryland, USA, 2002 – 57 p.

6. Mahammad, L. N. Fundamental Properties of SMA and CMHB Mixes / Louay N. Mahammad, Zheng Z. Tan, Baoshan Huang. - Norway, 1998. – 113 p.

7. Yastremsky, D. Microstructure of the Pulp and Paper Additives for Stone-Mastic Asphalt Concrete / D. Yastremsky, P. Chepur, T. Abaidullina // AIP Conference Proceeding – 2017. – Vol. 1800. – Article number 020002.

8. Ястремский, Д. А. Определение микроструктуры стабилизирующей целлюлозно-бумажной добавки «АРМИДОН» на растровом электронном микроскопе JSM-6510LV / Д. А. Ястремский // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 9. – С. 96-101.

9. Сайфитдинова, А. Ф. Двумерная флуоресцентная микроскопия для анализа биологических образцов: учебно-методическое пособие / А. Ф. Сайфитдинова. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург, 2011 – 111 с.

УДК 536.7

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЫРОЙ ВОДЫ ПЕРЕД ХВО НА ТЭЦ

Абдалов И.А., магистрант, denker72@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье рассматривается схема возможного применения теплового насоса на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) для подогрева воды перед химводоочисткой (ХВО), а также источник низкопотенциальной тепловой энергии. Для заданных параметров условной ТЭЦ было подобрано оборудование необходимое для работы теплового насоса. Также был посчитан экономический эффект от применения данной установки, на основании чего сделан вывод о целесообразности внедрения тепловых насосов на реальные ТЭЦ.

Ключевые слова: тепловой насос, ТЭЦ, ХВО, эффективность.

В рамках Федерального закона «Об энергосбережении и повышение энергетической эффективности» организации осуществляющие производство и транспортировку тепловой энергии обязаны один раз в пять лет проходить энергетическое обследование. Основная цель энергоаудита разработка энергосберегающих мероприятий для снижения потребления всех видов топливоэнергетических ресурсов.

В статье рассмотрено мероприятие, направленное на экономии топлива, за счёт внедрения тепловых насосов для нагрева сырой воды перед химводоочисткой. На рассматриваемой ТЭЦ тепловой мощностью 1565 Гкал/ч, объём сырой воды с расходом 103 кг/с поступает в теплообменные аппараты, где нагревается за счёт отбора 5 кг/с пара из турбины с температурой 200-250 °С и давлением 1,2 МПа.

Цель работы уменьшить расход топлива потребляемого на собственные нужды, за счёт подогрева воды перед химводоочисткой с использованием теплового насоса.

Были поставлены следующие задачи:

1. Выбрать схему и источник низкопотенциального тепла для включения теплового насоса в систему подогрева сырой воды перед химводоочисткой;
2. Выполнить расчёт и подобрать оборудование теплового насоса;
3. Рассчитать экономический эффект от замены существующего оборудования тепловым насосом.

Для решения первой задачи необходимо найти схему позволяющую полезно использовать низкопотенциальную теплоту продувочной воды градирни с помощью теплового насоса. Такая схема представлена на рис. 1

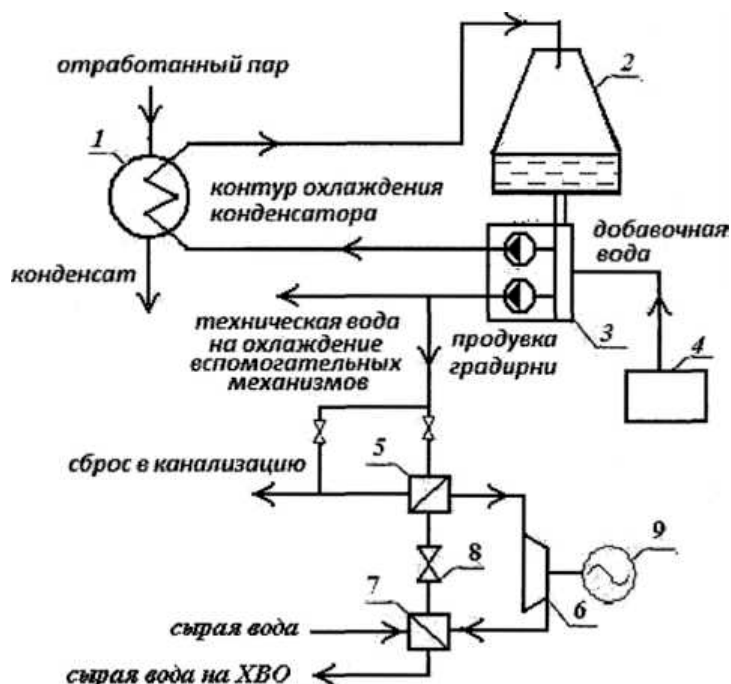


Рис. 1. Схема утилизации низкопотенциальной теплоты продувочной воды градирни: 1 - конденсатор паровой турбины, 2 – градирня, 3 - циркуляционная насосная станция, 4 - береговая насосная станция, 5 - испаритель, 6 - компрессор, 7 - конденсатор, 8 - дроссель, 9 - привод компрессора теплового насоса.

При заданных параметрах ТЭЦ для решения второй задачи было подобрано оборудование для теплового насоса с подключением по предложенной схеме.

Для теплонасосной установки используем винтовой компрессор ВХ 1400 (А1600-7-3) имеет следующие параметры:

- теоретическая объемная подача $V=3500 \text{ м}^3/\text{час} = 0,972 \text{ м}^3/\text{с}$;
- диаметр цилиндра – $D = 315 \text{ мм}$;
- отношение длины к наружному диаметру (относительная длина винтов) – $L/D = 1,35$;
- номинальная производительность – 1780 кВт;
- эффективная мощность – 565 кВт;
- габаритные размеры: длина – 5800 мм, ширина – 1200 мм, высота – 2900 мм;
- масса – 10 000 кг;
- диаметр патрубков – $d_{y.вс}/d_{y.н} = 300/200$.

В качестве испарителя подобран горизонтальный кожухотрубный фреоновый испаритель ИТГ-850 имеющий следующие характеристики:

- площадь поверхности теплообмена – 850 м²;
- объем межтрубного пространства – 10 м³;
- объем трубного пространства – 7,4 м³;
- количество труб – 1280;
- число ходов – 20;
- диаметр кожуха – 2000x22 мм;
- длина аппарата – 7400 мм;
- вес – 11500 кг.

Для змеевикового регенератора теплового насоса рассчитаны следующие характеристики:

- внутренний диаметр кожуха – $D_{вн} = 0,96$ м;
- площадь поверхности теплообмена – $F_p = 44,13$ м²;
- принятая площадь с учетом 10%-ного запаса – $F_{пр} = 48,54$ м²;
- площадь межтрубного пространства – $F_{мтр} = 0,0884$ м²;
- длина теплообменной трубы – $L = 151,5$ м;
- длина теплообменной трубы с учетом припусков на входной и выходной участки змеевика – $L_1 = 152,5$ м;
- число витков змеевика – $n = 60$;
- высота змеевика – $H = 6,84$ м;
- шаг навивки змеевика – $t = 0,114$ м;
- площадь сечения штуцера – $f = 0,0314$ м².

Используем конденсатор КТГ-250 имеющий следующие параметры:

- площадь поверхности теплообмена – 250 м²;
- объем межтрубного пространства – 3,5 м³;
- объем трубного пространства – 1,8 м³;
- количество труб – 870;
- диаметр кожуха – 1200 мм;
- длина аппарата – 5845 мм;
- вес – 9360 кг.

При решении третьей задачи был рассчитан экономический эффект от замены существующего оборудования тепловым насосом по формуле (1).

$$\mathcal{E}_{эф} = \Delta P_{газ}^{год} \cdot C_{1,м^3} - \Delta P_{э/э}^{год} \cdot T_{1кВт\cdotч} - I_{ам} - I_{рем}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{газ}^{год}$ – годовое потребление газа на подогрев сырой воды перед ХВО отбором пара, м³/год; $C_{1,м^3}$ – цена 1 м³ газа на собственные нужды ТЭЦ, руб/м³; $\Delta P_{э/э}^{год}$ – годовое потребление электроэнергии на привод компрессора теплового насоса, кВтч/год; $T_{1кВт\cdotч}$ – цена 1 кВтч электричества на собственные нужды ТЭЦ, руб/кВтч; $I_{ам}$ – амортизационные отчисления, руб/год; $I_{рем}$ – издержки на ремонт, руб/год.

Экономический эффект от применения теплового насоса составил:
$$\mathcal{E}_{эф} = 4351986 \cdot 2,5 - 2190000 \cdot 1,16 - 540000 - 162000 = 7637565 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения в установку теплового насоса составили 13500 тыс.руб., чистые денежные поступления от инвестиционных вложений составляют 5570,052 тыс.руб./год, чистый дисконтированный доход составляет 37059,585 тыс.руб., дисконтированный срок окупаемости составляет 2,9 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровков, В. М. Эффективность применения тепловых насосов на тепловых электростанциях с парогазовыми установками : учеб. пособие / В. М. Боровков, А. Аль-Алавин. - Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2008. - 263 с.

2. Горшков, В. Г. Тепловые насосы - аналитический обзор / В.Г. Горшков // Справочник промышленного оборудования. - 2004. - № 2. - С. 47-80.

3. Куйбина, Е. П. Обоснование выбора рабочего тела теплового насоса / Е. П. Куйбина // Промышленная энергетика. - 2009. - N 8. - С. 21—25.

4. Луканин, П. В. Тепловые насосы - состояние и перспективы / П. В, Луканин, В. И. Саунин // Минский международный форум по тепло- и массообмену: тезисы докладов и сообщений. - Минск, 2004. – С. 375-379.

5. Молодкина, М. А. Повышение технико-экономических показателей парогазовых тепловых электростанций путем утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием тепловых насосов [Рукопись] : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.14 / М. А. Молодкина ; С-ПГПУ. – Санкт-Петербург, 2012. – 103 с.

6. Морозюк, Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов / Т. В. Морозюк. - Одесса: Студия "Негоциант", 2006, - 712 с.

7. Теплонасосная технология в решении крупномасштабных задач теплофикации с использованием низкопотенциальной теплоты энергоисточников / Калнинь И. М. [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. - 2009. - N 5 (61). - С. 25-30.

РАСЧЕТ ТРЕХМЕРНОГО ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОКРУГ ТРУБОПРОВОДА В МЕРЗЛОМ ГРУНТЕ

Аксенов Б. Г., д-р физ.-мат. наук, профессор, консультант кафедры
Промышленной теплоэнергетики, aksenovbg@tyuiu.ru.
Абросимова С. А., аспирант, abrosimova@tyuiu.ru.
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Надежность работы трубопровода, уложенного в мерзлом грунте, зависит от деформаций, возникающих при оттаивании грунта вокруг трубопровода. В работе предложен численный метод решения трехмерной задачи Стефана для расчета температурного поля вокруг трубопровода. Приведен алгоритм расчета. Решены следующие практические задачи: 1) определение температуры нефти в любом участке трубопровода; 2) нахождение ореола оттаивания вокруг трубопровода. Результаты расчета представлены в графическом виде. Проведен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: задача Стефана, расчет температурного поля, ореол оттаивания.

Надежность работы трубопровода в районах распространения многолетнемерзлых пород во многом зависит от деформаций, возникающих вследствие протаивания грунта вокруг трубопровода.

Расчет температурного поля грунта при наличии фазового перехода приводит к решению задачи Стефана [1]. Численный метод решения двумерной задачи Стефана для поперечного сечения трубопровода дан в работе [2].

В настоящей работе приводится алгоритм расчета температурного поля вокруг трубопровода с учетом изменения температуры вдоль трубы. Это позволяет решать следующие практические задачи: 1) Определить перепад температуры нефти на любом участке трубопровода; 2) установить ореол оттаивания грунта в произвольном поперечном сечении.

Нами предложен алгоритм, в котором решение трехмерной задачи сводится к последовательному решению двумерных задач для сечений трубопроводов, отстоящих друг от друга на расстояние h_1 (между сечениями). Такая возможность появляется вследствие того, что температура нефти вдоль трубы меняется монотонно и довольно медленно, так что на некотором, достаточно малом h_1 , тепловой поток можно приближённо считать постоянным. При этом справедливо уравнение теплового баланса

$$G \cdot c_n(t_{n1} - t_{n2}) = \alpha(t_{n1} - t_T) \cdot 2\pi r h_1, \quad (1)$$

где, $G = \pi r^2 \omega$ – объемный расход нефти в единицу времени, m^3/c ; ω – скорость течения нефти, m/c ; t_{n1} , t_{n2} – температура нефти в данном и соседнем сечениях, $^{\circ}C$; c_n – объемная теплоемкость нефти, $Дж/м^3 \cdot K$; α –

коэффициент теплопередачи нефть-грунт, $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$; t_T – температура стенки трубы, $^\circ C$; r – радиус трубы, m .

Из уравнения (1) находим t_{H2} . Температура трубы t_T определяется из условия равенства тепловых потоков от нефти к трубе и от трубы к грунту

$$\frac{\lambda_r}{h_x} (t_T - t_r) = \alpha (t_{H1} - t_T), \quad (2)$$

где λ_r – коэффициент теплопроводности грунта Bm/mK ; h_x – расстояние от трубы до ближайшей узловой точки в грунте, m ; t_r – температура грунта в этой точке, $^\circ C$; h_x и t_r находятся из сеточной двумерной модели для поперечного сечения трубы.

Для расчета коэффициента α можно использовать эмпирическую формулу [3]

$$\alpha = \frac{\lambda_n}{d_s} \cdot 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (3)$$

где λ_n – коэффициент теплопроводности нефти; d_s – эффективный диаметр (в нашем случае – внутренний диаметр трубы); Re – критерий Рейнольдса; Pr – критерий Прандтля.

Входящие в формулу (3) величины λ_n , c_n , ν зависят от температуры нефти, которая меняется со временем, поэтому их нужно пересчитывать на каждом временном шаге. Используя работу [4], имеем

$$c_n = \frac{762,5 + 3,38 \cdot T}{\sqrt{\rho}}, \quad \lambda_n = \frac{0,134 - 6,31 \cdot 10^{-5} \cdot T}{\rho}, \quad (4,5)$$

$$lglg10^6(\nu + 0,8 \cdot 10^{-6}) = 6,3812 - 2,8735 \cdot lgT, \quad (6)$$

где T – температура нефти, K ; ρ – плотность нефти, kg/m^3 при $20^\circ C$, ν – коэффициент кинематической вязкости, m^2/c .

Алгоритм работает следующим образом. В начале трубопровода (первое сечение) температура нефти считается постоянной и известной. Для первого сечения решается двумерная задача Стефана по методике из работы [2]. На каждом шаге по времени по формулам (2)–(6) рассчитывается температура нефти во втором сечении (t_{H2}). При переходе ко второму сечению мы имеем заполненный массив значений t_{H2} для всего рассматриваемого отрезка времени, так что мы можем решать плоскую задачу Стефана для этого сечения. Далее совершается переход к третьему сечению и т.д.

Описанный алгоритм реализован в виде программы для ЭВМ. Для примера приводятся результаты расчета температуры нефти по длине трубопровода и температурного поля вокруг него при следующих исходных данных: $h_{тр}$ – расстояние от поверхности земли до центра трубы – $1,25 m$; t_1 – температура грунта ($-5^\circ C$), t_2 – температура таяния – $0^\circ C$; t_n – температура нефти в начале трубопровода – $40^\circ C$; h – коэффициент теплопередачи грунт – воздух – $15,119 Bm/m^2 \cdot ^\circ C$; λ_r – коэффициент теплопроводности талого грунта $1,57 Bm/mK$; λ_m – коэффициент теплопроводности мерзлого грунта – $1,86 Bm/mK$; $l_{тр}$ – длина трубопровода – $1000m$; S_t – время просчета – $1000ч$; ω – скорость течения нефти – $0,56$

m/c ; K – удельная теплота таяния грунта – $73670 \text{ кДж}/m^3$; D – диаметр трубы – $0,5 \text{ м}$; a_T – коэффициент температуропроводности талого грунта – $6,39 \cdot 10^{-6} m^2/c$, мерзлого грунта – $1 \cdot 10^{-6} m^2/ч$.

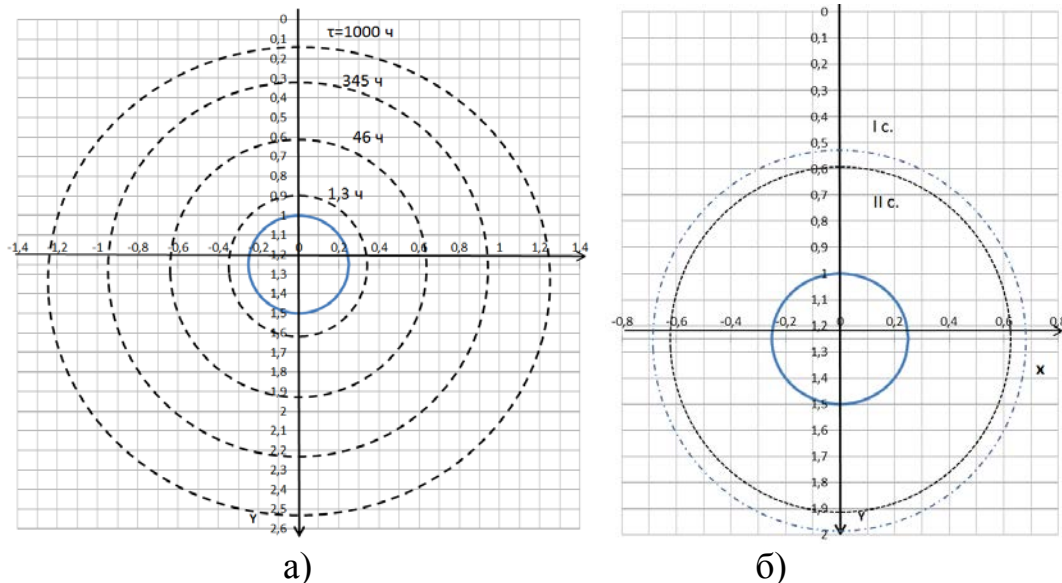


Рис. 1. а) движение границы оттаивания грунта в начале трубопровода, б) Границы оттаивания грунта в начале и в конце трубопровода: I с., II с. – поперечное сечение в начале и конце трубопровода.

На рис. 1 а) представлен график движения фронта оттаивания в первом сечении за 1000 часов. Так как задача симметрична относительно оси y , то расчет проводится только для правой половины зоны. Видно, что первоначально граница оттаивания по форме близка к окружности концентричной трубы. С течением времени возрастает влияние постоянной отрицательной температуры на поверхности и граница вытягивается в глубь земли. За 1000 часов граница продвигается вверх на $0,87 \text{ м}$, а вниз – на $1,1 \text{ м}$.

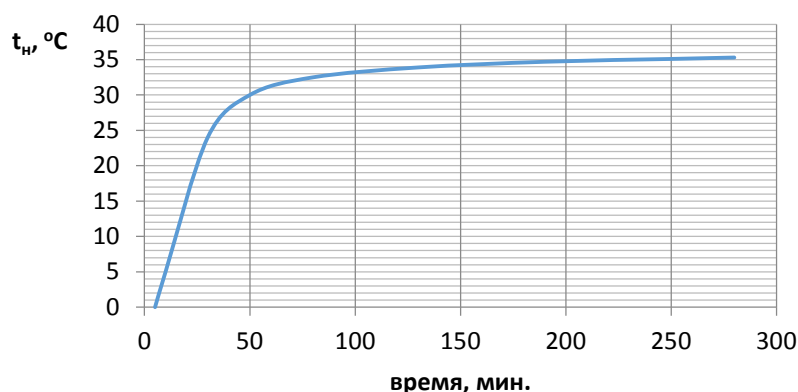


Рис. 2. Изменения температуры нефти в конце трубопровода.

На рис. 1 б) показано положение фронта оттаивания в момент $\tau = 100$ ч в начале и в конце рассматриваемого участка трубопровода. Как и

следовало ожидать, в конце трубопровода фронт оттаивания проходит ближе к трубе. На рис. 2 приведен график изменения температуры нефти в конце трубопровода в течение первых пяти часов.

Из анализа графика следует, что температура повышается вначале резко, а затем более плавно. При $\tau=1000$ ч она составляет $38,8^{\circ}\text{C}$ (в начале трубопровода 40°C), так как со временем окружающий грунт прогревается и нефть меньше остывает при прохождении по трубопроводу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики: учебник / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – 7-е изд. – Москва: Наука, 2004. – 798 с.

2. Аксенов, Б. Г. Температурное поле вокруг трубопровода в многолетнемерзлом грунте / Б. Г. Аксенов, С. А. Абросимова // Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГУ): материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2018.– С. 246-248.

3. Андреев, В. А. Теплообменные аппараты для вязких жидкостей / В. А. Андреев. – Ленинград: Энергия, 1971. – 151 с.

4. Szilas, A. P. Production and transport of Oil and Gas. / A. P. Szilas – Amsterdam : Elsevier, 1975. – 630 p.

УДК 620.92

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ZULUGIS ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Антипин С. В., обучающийся, antipinstepan@gmail.com

Захаров В. В., обучающийся, gan4ybas@gmail.com

Рыдалина Н. В., ассистент, rydalina@rambler.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Проектирование и строительство инженерных сетей, с том числе и тепловых, сопровождается рядом проблем разного рода. Это может быть, например, неточность расчетов или другие ошибки, совершённые человеком. К тому же, само проектирование занимает большое количество времени. В статье рассмотрена перспектива использования программы ZuluGIS для проектирования тепловых сетей, которая позволяет создавать базу данных с информацией по всем инженерным сетям и их графическим представлением на карте. Кроме того, с помощью этой программы можно проводить различные тепловые и гидравлические расчеты по имеющимся данным. Для показа возможностей этой программы, была рассчитана тепловая сеть. В итоге, после ввода всех исходных данных, были получены результаты, полностью удовлетворяющие необходимым требованиям.

Ключевые слова: ZuluGIS, инженерная сеть, тепловая сеть.

На современном этапе, в связи с интенсивным ростом строительства и производства в нашей стране существует необходимость в проектировании новых и реконструкции старых тепловых сетей. Так, при проектировании новых сетей следует оценить тепловые нагрузки по исходным данным конкретных проектов нового строительства, а при реконструкции тепловых сетей по имеющимся тепловым нагрузкам.

В настоящее время существуют программные различные программные продукты, позволяющие проектировать тепловые сети, такие как пакет инструментов Audytor, ПК СТАРТ и программа ZuluGIS. Отличительной особенностью программы ZuluGIS является то, что схемы инженерных сетей создаются с поддержкой их топологии, что позволяет использовать встроенные модули для выполнения гидравлических расчетов и построения пьезометрических графиков.

Программа ZuluGIS, которая предназначена для разработки карт, требующих визуализации пространственных данных, анализа их топологии и их связи с семантическими базами данных. С помощью ZuluGIS можно создавать всевозможные карты в географических проекциях или план-схемы, включая карты и схемы инженерных сетей.

Разработка тепловых сетей ведётся с помощью встроенного в программу инструментария под названием ZuluThermo. ZuluThermo – комплекс инструментов, нужных для разработки и, частично, эксплуатации системы централизованного теплоснабжения. Использование ZuluThermo позволяет лучше понимать режимы работы тепловой сети, оценивать мероприятия по модернизации и перспективному развитию системы централизованного теплоснабжения, анализировать аварийные ситуации.

С целью ознакомления работы с программой был проведен расчет тепловой сети. В табл. 1. и табл.2 представлены исходные данные, которые использовались для расчёта тепловой сети.

С помощью программы ZuluGIS исходное изображение микрорайона было преобразовано из растрового вида в векторный. Затем, используя карту и исходные данные, указанные в Табл. 1 и Табл. 2., были созданы необходимые базы данных. Посредством инструментов программы были получены результаты трёх расчетов: конструкторского, наладочного и поверочного. Основные результаты данных расчетов указаны в табл. 3.

Таблица 1

Исходные данные по потребителям ТС

Адрес	Расчетная нагрузка на отопление, Гкал/ч	Расч. темп. сет. воды на входе в потреб., °С	Расчетная темп. воды на выходе из СО, °С	Расчетная темп. воды на входе в СО, °С	Расч. темп. внутр. воздуха для СО, °С	Расчетный располагаемый напор в СО, м
Северная ул. д.1	0,7	130	70	95	22	1,5
Северная ул. д.2	0,2	130	70	95	22	1,2
Северная ул. д.3	0,25	130	70	95	22	1,2
Северная ул. д.4	0,8	130	70	95	22	1,5
Северная ул. д.5	0,3	130	70	95	22	1,5
Северная ул. д.6	0,65	130	70	95	22	1,5
Северная ул. д.7	0,35	130	70	95	22	1,5
Северная ул. д.8	0,4	130	70	95	22	1,5
Северная ул. д.9	0,2	130	70	95	22	1,5
Северная ул. д.10	0,1	130	70	95	22	0,8

Таблица 2

Исходные данные по источнику ТС

Наименование предприятия	МУП Тепловые сети
Наименование источника	Котельная № 11
Номер источника	1
Расчетная температура в подающем трубопроводе, °С	130
Расчетная температура холодной воды, °С	5
Расчетная температура наружного воздуха, °С	-26
Текущая температура воды в подающем трубопроводе, °С	130
Текущая температура наружного воздуха, °С	-26
Расчетный располагаемый напор на выходе из источника, м	40
Расчетный напор в обратном трубопроводе на источнике, м	20

Также по результатам конструкторского расчета был получен минимальный необходимый напор для источника теплоты равный 45,6 м, наладочный расчет также подтвердил, что этого напора хватит для работы тепловой сети.

Результаты расчетов тепловой сети

Адрес	Расчетный расход воды, т/ч	Диаметры подающего и обратного трубопроводов, мм
Северная ул. д.1	11,67	70
Северная ул. д.2	3,33	50
Северная ул. д.3	4,17	50
Северная ул. д.4	13,33	70
Северная ул. д.5	5	50
Северная ул. д.6	10,83	70
Северная ул. д.7	5,83	50
Северная ул. д.8	6,67	50
Северная ул. д.9	3,33	50
Северная ул. д.10	1,67	50

Для удобства представления карты на макете, были вынесены ключевые данные о тепловой сети на саму карту. Результат проделанной работы представлен на рис. 1.

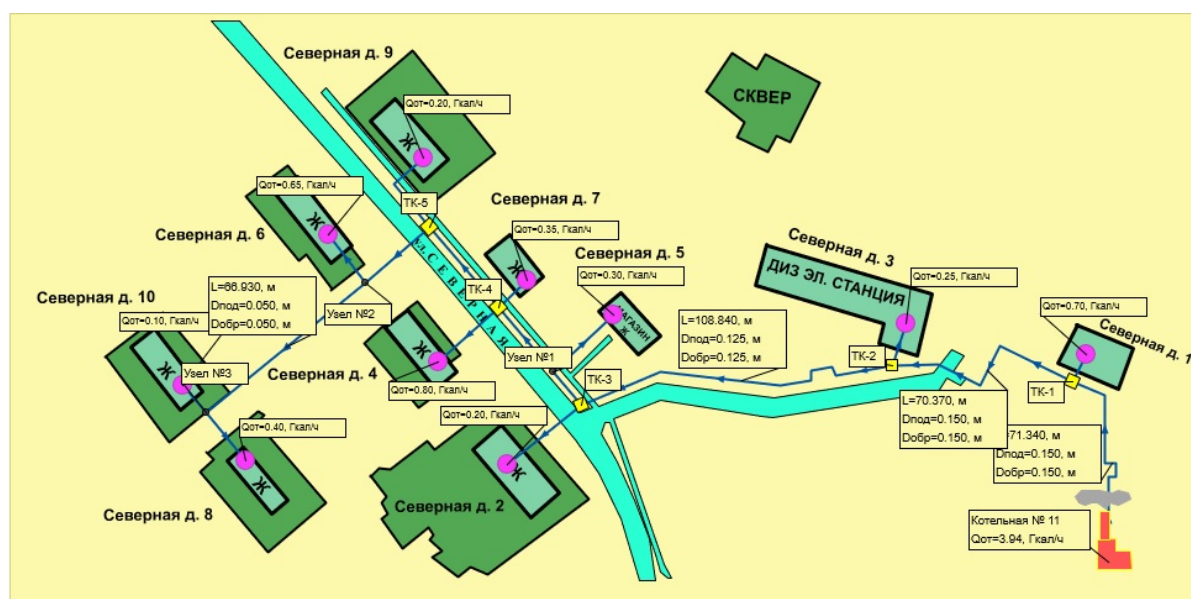


Рис. 1. Тепловая сеть, построенная в программе ZuluGIS

В самой программе также можно посмотреть и другие данные, такие как, например, расход воды для каждого участка трубопровода, потери давления и другое.

В целом, на построение этой схемы ушло около 6 часов чистого времени, учитывая отсутствие опыта работы в этой программе. В результате была получена наглядная схема тепловой сети данного района, с необходимой информацией по источнику теплоты, тепловым узлам, участкам и потребителям. При этом, любое теоретическое изменение в,

например, количестве потребителей, мы бы могли без труда учесть, изменив или добавив лишь малую часть информации.

Таким образом, использование такой программы:

1) позволяет в короткий срок выполнить проектные работы любой сложности;

2) сравнить различные варианты прокладки тепловых сетей и выбрать оптимальный;

3) создать единую модель инженерных сетей конкретного города и России в целом, которую можно было бы использовать для предотвращения аварий или проектирования новых участков сетей самым экономически целесообразным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ZuluGIS – инструментальная геоинформационная система [Электронный ресурс] // Продукты компании «Политерм». – Режим доступа: <https://www.politerm.com/products/geo/zulugis/>

2. ZuluThermo – набор программ для расчетов тепловых сетей. [Электронный ресурс] // Продукты компании «Политерм». – Режим доступа: <https://www.politerm.com/products/thermo/zuluthermo/>

3. ZuluGIS – руководство пользователя [Электронный ресурс] // Продукты компании «Политерм». – Режим доступа: <https://www.politerm.com/zuludoc/index.html>

УДК 620.1.08

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ ОТ ЛИЦЕНЗИОННОГО УЧАСТКА ДО ПРЕДПРИЯТИЯ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

Белоглазов К.И., обучающийся, colobok.on@gmail.com.

Ковязина В.А., обучающийся, kovjzina@mail.ru.

Германова Т.В., канд. техн. наук, доцент, germanovatv@tyuiu.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Одна из некоторых проблем, возникающих при транспортировании нефти по трубопроводу от лицензионного участка до предприятия ее переработки, представляет разница в показаниях приборов по измерению расхода нефти, расположенных у поставщика и потребителя. В статье представлены материалы экспериментального исследования оценки влияния газосодержания в жидкой фазе на метрологические характеристики расходомера кориолисового типа. Целью работы является проведение

оценки погрешности возникающей при транспортировке нефти от лицензионного участка до предприятия его переработки.

Ключевые слова: газожидкостный поток, измерительная система, расход, трубопровод, фаза, эталон, погрешность.

В трубопроводах, транспортирующих нефть, располагаются измерительные устройства, дающие возможность измерять с заданной точностью расход однофазного потока одного типа. Отсюда возникает вопрос, откуда взялась эта разница в показаниях измерительных приборов однофазных потоков? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим, как транспортируется нефть по трубопроводу. Следуя руководящему документу РД 153-39.4-113-01 Дата введения 2002-07-01 «Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов» разработан ОАО "Гипротрубопровод" при участии рабочей группы специалистов ОАО "АК "Транснефть" внесен "Управлением развития систем магистральных трубопроводов Минэнерго России" и ОАО "АК "Транснефть", скорость течения транспортируемой нефти должна быть в диапазоне от 0,5 до 7 м/с. Если учесть, что длина трубопровода может достигать 80 км, то время транспортирования может составлять сутки и более. Этого времени достаточно, чтобы часть остаточного растворенного газа перешла в свободное состояние. При этом в трубопроводе образуется газожидкостная смесь.

На лицензионном участке и на предприятии подготовки нефти располагаются однофазные расходомеры одного производителя, не рассчитанные на установку в газожидкостном потоке. Появление в магистрале свободного попутного газа и образование газожидкостной смеси приводит к погрешности в показаниях прибора по учету расхода, установленного на предприятии переработки нефти. Надо отметить, что с лицензионного участка на прибор учёта расхода подается нефть без газовой фазы, и он показывает истинный расход потока нефти. В статье представлены материалы экспериментального исследования оценки влияния газосодержания в жидкой фазе на метрологические характеристики расходомера кориолисового типа (Рис. 1).

Исследования проводились на Государственном первичном специальном эталоне единицы массового расхода газожидкостных смесей ГЭТ 195–2011 (первичный специальный эталон). Государственный первичный специальный эталон единицы массового расхода газожидкостных смесей ГЭТ 195-2011 предназначен для воспроизведения состава и единицы массового расхода газожидкостных смесей. Эталон позволяет решать как научно-исследовательские задачи по исследованию динамики и режимов течения многофазных потоков, так и метрологические задачи по разработке методов и средств измерений расхода.

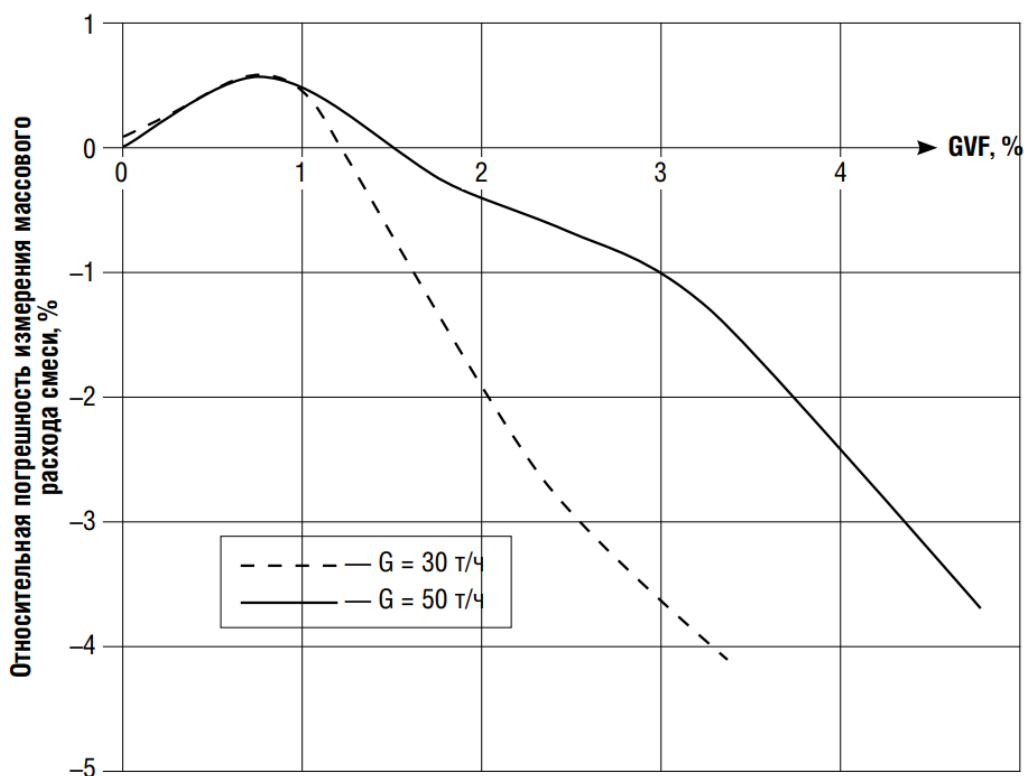


Рис. 1. Относительная погрешность измерений массового расхода смеси в зависимости от объемной доли газа (GVF)

Таблица 1

Метрологические характеристики государственного первичного специального эталона единицы массового расхода газожидкостных смесей ГЭТ 195-2011

Наименование физической величины	Погрешности, %		Неопределенности, %			
	S_0	v_0	u_{0A}	u_{0B}	u_{0C}	U_{0P}
Массовый расход газожидкостной смеси, $Q_{ГЖСМ}$	0,11	0,35	0,11	0,2	0,23	0,46
Массовый расход жидкости, $Q_{Ж}$	0,03	0,06	0,03	0,03	0,04	0,08
Объемный расход газа, приведенный к стандартным условиям, $Q_{Гv}$	0,1	0,28	0,1	0,16	0,17	0,38

Из графика на Рис.1 следует, что в зависимости от массового расхода жидкой фазы и величины объемного газосодержания $GVF = 1,5 \%$

относительная погрешность массового расхода смеси имеет положительное значение, она растет и достигает максимального значения +0,75 %. В дальнейшем, с увеличением доли объемного газосодержания, относительная погрешность уменьшается до нулевого значения, а затем принимает отрицательные значения и при $GVF = 3,3$ % погрешность достигает значения 4 %. Такое немонотонное изменение метрологических характеристик измерения расхода жидкости в зависимости от газосодержания можно объяснить принципом работы кориолисового расходомера. Увеличение гидростатического и скоростного напора за счет подачи в магистраль первичного специального эталона газовой фазы приводит к увеличению расхода по показаниям кориолисова расходомера. В дальнейшем, с увеличением подачи газовой фазы, из-за уменьшения плотности газожидкостного потока, относительная погрешность измерения массового расхода смеси (Рис. 1) уменьшается.

Для решения споров при взаиморасчетах между потребителем и поставщиком необходимо устанавливать двухфазные газожидкостные расходомеры позволяющие определить расход жидкой фазы. Стоит отметить, что измерение расхода двухфазного потока в режиме реального времени требует от измерительного устройства определения расхода двух компонент, проходящих через измерительный прибор. Этот факт, в свою очередь, требует от измерительного устройства наличия системы, способной различать фазы и их скорости в газожидкостном потоке. Однако если трубопровод заполнен только газожидкостной смесью, то, зная содержание хотя бы одной фазы, можно рассчитать вторую. Следовательно, в режиме реального времени достаточно измерить объемную долю одной фазы (доля — это отношение площади сечения, занимаемой одной фазой к общей площади сечения трубы, измеренного в определенный момент времени). Учитывая возможное скольжение фаз, необходимо измерение скорости каждой фазы. С учетом сказанного, для описания двухфазного потока требуется три различных измерения (определение одной фазы и двух значений скорости). Кроме того, необходимо знать давление и температуру в газожидкостном потоке. Поэтому, следует разработать прибор, содержащий пять датчиков. Данное число датчиков соответствует значению, вытекающему из выражения $2n + 1$ (где n — количество фаз в потоке). Выражение показывает, сколько необходимо провести независимых измерений, чтобы определить расход фаз.

Создание прибора для измерения расхода жидкой фазы в газожидкостном потоке, по аналогии с многофазными расходомерами, разработанными для определения расхода нефти в потоке нефтегазоводяной смеси, требует как больших финансовых затрат, так и длительного времени на его разработку и аттестацию. Однако двухфазный расходомер необходим, так как его установка на предприятии переработки

нефти позволит навести порядок во взаиморасчетах между поставщиком и потребителем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компетентность - ежемесячный научно-практический журнал [Электронный ресурс] // Свидетельство о регистрации ПИ № ФС-77-48934. - Режим доступа: <http://www.asms.ru/publishing/magazine/kompetentnost-9-10-150-151-2017>.

2. Автоматизированная система управления государственного первичного эталона [Электронный ресурс] // ГЭТ 195-2011. – Режим доступа: <https://www.prosoft.ru/cms/f/449354.pdf>.

3. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032108>.

УДК 697.7

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Киреев Д.В., магистрант, kireeff.dmitrij2017@yandex.ru.

Светлаков И.А., магистрант, svetlakov.ilya.95@mail.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье представлено основное техническое решение, принятое на основе внедрения теплонаносных установок, направленное на повышение энергетической эффективности систем отопления здания. Приведен принцип работы теплового насоса, основные расчетные формулы.

Ключевые слова: система отопления здания, тепловой насос, энергоэффективность.

Предпосылкой эффективного использования ТНУ (теплонаносных установок) является всесторонний учет всех внешних и внутренних условий протекания процесса отопления здания.

Тепловой насос - это устройство, в котором осуществляется преобразование тепловой энергии, путем переноса энергии от источника низкопотенциальной энергии (с низкой температурой) к потребителю с более высокой температурой.

Тепловые насосы подразделяются на:

- компрессионные
- абсорбционные

- термоэлектрические
- Принцип работы:

В тепловом насосе компрессор засасывает пары хладагента из испарителя, сжимает их и подает в конденсатор. В результате конденсации хладагента выделяется тепло с достаточно высокой температурой. Это тепло является полезной энергией, которую вырабатывает тепловой насос. Хладагент в жидком состоянии через специальный вентиль поступает из конденсатора в испаритель. Тепло необходимое для испарения хладагента может быть низкопотенциальным.

Эффективность теплового насоса характеризует коэффициент преобразования энергии η_n , также называемый отопительным коэффициентом. Отопительный коэффициент равен отношению количества теплоты Q_m , получаемого для отопления, к количеству теплоты $Q_э$, эквивалентному затратам энергии на приведение установки в действие:

$$\eta_n = \frac{Q_m}{Q_э}, \quad (1)$$

где η_n - отопительный коэффициент; Q_m - количество теплоты, получаемого для отопления; $Q_э$ - количество теплоты, эквивалентное затратам энергии на приведение установки в действие.

Коэффициент использования энергии ТНУ выражается формулой:

$$\eta_u = \beta \cdot \varepsilon_c, \quad (2)$$

где ε_c - коэффициент преобразования идеального термодинамического цикла Карно, β - степень термодинамического совершенства реального процесса в ТНУ.

Коэффициент использования зависит от совершенства конструкции и от разности температуры, которая определяется по формуле:

$$\Delta T = T_k - T_u, \quad (3)$$

где T_k - температура конденсации, T_u - температура испарения.

Температура испарения зависит от температуры окружающей среды, а температура конденсации определяется рабочей температурой у потребителя тепловой энергии.

Все тепловые насосы работают на разных источниках энергии, следовательно, базой сравнения энергетической эффективности является первичная энергия, полученная в установках на органическом топливе.

Коэффициент использования первичной энергии находят по формуле:

$$\eta_{н.э.} = \eta_u \cdot \eta_k, \quad (4)$$

где η_k - КПД котла

Например, $\eta_{н.э.}$ теплонасосных установок равен 0,9, при КПД котла равном 0,65.

В целях энергосбережения следует применять в системах отопления такие ТНУ, которые обеспечивают высокую степень использования первичной энергии.

Коэффициент использования, превышающий 1, достигается только с помощью теплового насоса в системе отопления здания.

Источники низкопотенциальной тепловой энергии: тепло вытяжного воздуха, тепло отработанной горячей воды, тепло грунта, тепло подземных и морских вод

Кроме того, источником бывает аккумулированная теплота, используемая периодически.

Энергию окружающей среды необходимо использовать в определенных местах и в определенное время.

Температура в помещении иногда не сильно отличается от температуры источников окр. среды, следовательно, низкотемпературные системы отопления являются подходящими объектами ТНУ. В этих системах используется почти все отопительные приборы.

Вместе с оценкой энергетической эффективности также оценивается и экономический эффект от перехода к отоплению с ТНУ. Для этого устанавливают еще и дополнительные капитальные вложения на устройство ТНУ и вместе с энергетическими затратами оценивают срок окупаемости. Примерный срок окупаемости ТНУ составляет 1,5-3 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский, В. Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение : учебник для вузов / В. Н. Богословский, О. Я. Кокорин, Л. В. Петров. - Москва : Стройиздат, 1985. – 367 с.

2. Богословский, В. Н. Отопление : учебник для вузов / В. Н. Богословский, А. Н. Сканави. – Москва : Стройиздат, 1991. – 735 с.

УДК 697.11

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Киселёв А.В., бакалавр, anger_111@mail.ru

Захаренко С.О., преподаватель каф. ПТ, stanislav_zakharenko@icloud.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные виды подземных аккумуляторов, а также принципиальные возможности их применения для обеспечения

нужд теплоснабжения. Произведена сравнительная оценка целесообразности применения различных подземных аккумуляторов теплоты. Сделаны основные выводы.

Ключевые слова. Аккумуляция тепла, возобновляемая энергия.

Перед всеми учеными человечества порядка 50-ти лет стоит задача снижения выбросов загрязняющих веществ в нашу атмосферу, а также внедрение использования альтернативных источников энергии для бытового и промышленного пользования. Аккумуляция тепла из подземных источников один из перспективных способов экономии углеводородного топлива.

В качестве используемых резервуаров в установках для суточного регулирования графика потребления в основном преобладают секционные ёмкости, сварные цистерны, железобетонные наземные и подземные конструкции. Для регулирования сезонных перепадов нагрузки часто используют не только искусственные ёмкости, но и шахты или разного рода естественные пустоты в водонепроницаемых слоях грунта.

Для аккумуляции тепла могут быть применены, вещества, не оказывающие токсического воздействия на окружающую среду, имеющие большую теплоемкость или высокую теплоту плавления при хорошей теплопроводности. Зачастую для аккумуляции тепла используется такой широко распространённый теплоноситель как вода.

Подземные Установки для аккумуляции теплоты отличаются значительными капитальными вложениями, что не способствует их широкому применению. Проведенные экономические расчеты, показывают, что максимальную рентабельную стоимость имеют тепло-аккумуляторы в виде земляных бассейнов с тепловой изоляцией. Несколько дешевле обходятся баки-аккумуляторы из стали, которые имеют, как правило, маленький объем и в связи с этим часто применяются для суточного регулирования нагрузок.

Для создания больших тепло-аккумуляторов, удовлетворяющих сезонному регулированию, дешевле применять искусственные подземные бассейны: их оценочная стоимость при объёме более 100 тыс. м³ меньше, чем у тепло-аккумуляторов из стали или другого материала.

Природный аккумулятор по сравнению с искусственным подвержен меньшему износу, не требует ремонта и обслуживания, а срок его использования почти безграничен.

Перспективным направлением является комбинированный способ сочетания аккумуляции тепла в водоносных слоях с использованием тепловых насосов (рис. 1). Расчеты показывают, что такое сочетание значительно увеличивает эффективность системы обогрева (в зимнее время) и кондиционирования воздуха (в летнее время).

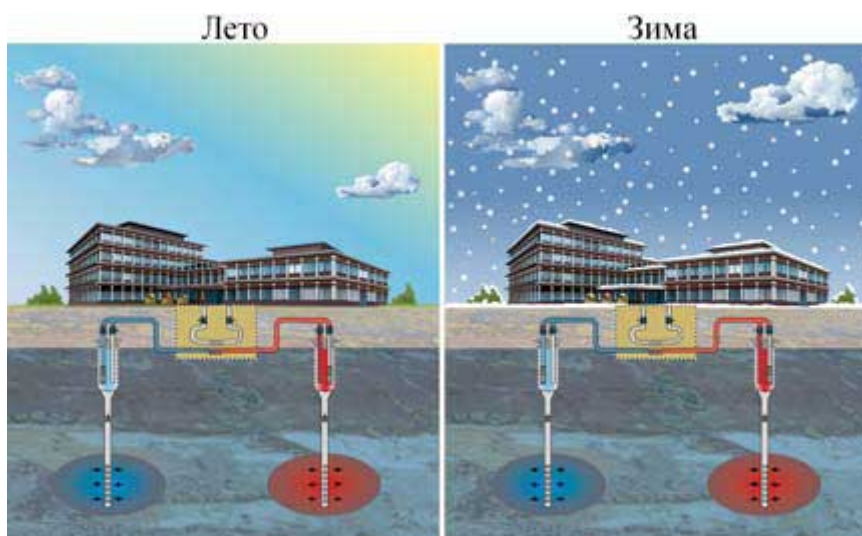


Рис. 1. Комбинированная система аккумуляции теплоты в водоносных слоях с тепловыми насосами

При определенных условиях климата аккумуляция тепловой энергии в этом случае может увеличить преобразование энергии и позволит сэкономить до 50 % первичной энергии, использованной для нужд теплоснабжения жилых и промышленных помещений.

Такая *комбинированная система аккумуляции теплоты* состоит из двух скважин, через которые откачивается или закачивается вода из водоносного слоя (аккумулирующая среда). Одна скважина применяется для аккумуляции тепловой энергии, другая - холода. Скважины расположены на расстоянии трёх десятков метров друг от друга, исключая взаимное влияние теплого и холодного температурных полей и наземно соединены между собой трубопроводом с теплообменником.

Годовой цикл работы подземных аккумуляторов тепловой энергии при помощи теплового насоса и теплообменника осуществляется следующим образом:

Летний период. Тепловая энергия в виде холода из первой скважины с холодным теплоносителем используется для кондиционирования воздуха помещений потребителя. Теплоноситель из водоносного слоя с температурой 8-11°C поступает из холодной скважины в теплообменник, в котором отпеленный теплоноситель идущий от потребителя охлаждается, а вода из скважины нагревается. Затем нагретый теплоноситель поступает во вторую скважину для накопления тепловой энергии. Из этого следует что, по мере подачи холода потребителю его запас уменьшается вокруг первой скважины, одновременно с этим запас теплоты во второй скважине увеличивается.

Зимний период. Как только у потребителя возникает необходимость в обеспечении нагрузок на отопление и горячее водоснабжение, процесс

течёт в обратную сторону: теплоноситель с более высокой температурой поступает из второй скважины и после отдачи тепловой энергии в теплообменнике возвращается в водоносный пласт через первую скважину. Теперь возле холодной скважины растёт запас аккумулированного холода. Таким образом осуществляется годовой цикл зарядки-разрядки подземного аккумулятора теплоты.

В множестве систем температура поступающей в систему воды зимой составляет 7-10°C, а летом 14-24°C, то есть можно говорить об аккумуляции низко потенциального тепла и холода.

Такие комбинированные системы аккумулирования тепловой энергии уже используются в Канаде и Швейцарии. Однако вместо тепловых насосов, может включаться гелиоустановка на базе солнечных коллекторов.

Таким образом мы можем сделать вывод, что такой способ получения тепловой энергии, позволяет обеспечивать нужды потребителей на теплоснабжение с использованием возобновляемых источников энергии, тем самым экономить первичное углеводородное топливо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котолер В. Аккумулирование тепловой энергии в водоносных горизонтах / В. Котолер, В. Баторшин // Аква-Терм. - 2016. - № 3. – С. 180-181.

2. Система аккумулирования тепла в подземных водоносных горизонтах/ Алексеев В. С. и [др.] // Водоснабжение и санитарная техника. - 1987. - № 6. - С. 19-22.

3. Теплотехника: учебник для вузов / Баскаков А. П. [и др.] - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 230 с.

УДК 620.97

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕЛЛЕТ

Ковязина В.А., обучающийся, kovjzina@mail.ru
Белоглазов К.И., обучающийся, colobok.on@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Поиск альтернативного и при этом экологически чистого вида топлива всегда был чрезвычайно актуальным для всего мира, так как важность качественного, недорогого и очень эффективного топлива переоценить невозможно. Одним из таких являются древесные гранулы или пеллеты. Целью работы является проведение научного обзора возможности использования и эффективности пеллет в качестве альтернативного

источника энергии. В статье приведены необходимые расчеты для оценки эффективности использования пеллет и получены соответствующие результаты, исходя из которых видно, что пеллеты являются выгодным альтернативным источником энергии.

Ключевые слова: пеллеты, биотопливо, котел.

Пеллеты – это биотопливо, они представляют собой топливные гранулы маленького размера и цилиндрической формы. Их получают путем измельчения древесного сырья и прессуют в специальной установке в гранулы.

Сырьем для изготовления пеллет являются древесные опилки березы, гречневая шелуха, стебли рапса, рожь (солома), рисовая шелуха, шелухи семечки подсолнуха, торф, ячмень (солома), древесные опилки сосны.

Наиболее эффективными и качественными являются древесные пеллеты, которые подходят для бытовых твёрдотопливных котлов, работающих на этом топливе.

Физические характеристики пеллет из древесины:

- Влажность - 8-12%;
- Длина 5-50 мм;
- Плотность пеллет 1200-1400 кг/м³;
- Низшая теплота сгорания 17 МДж/кг

Главным преимуществом топливных гранул является их абсолютная экологическая чистота, поскольку пеллеты практически не содержат золы, при сжигании гранулы не выбрасывают в атмосферу большого количества углекислого газа и изготавливаются под высоким давлением без применения каких-либо химических закрепителей.

К недостаткам использования гранул можно отнести необходимость в приобретении определенного вида отопительного устройства - пеллетного котла (для наиболее полного и эффективного сжигания пеллет) и тот факт, что не во всех регионах страны можно приобрести необходимое количество пеллет для отопления. Последнее приводит к тому, что требуется делать их запас на отопительный сезон, а для хранения пеллет нужно оборудовать специальное помещение.

Пеллетные котлы – это разновидность котлов на твердом топливе. Они предназначены для сжигания древесных топливных гранул (пеллет). Преимущества таких котлов - независимость от центральных источников и, следовательно, тарифных ставок, экологическая чистота, максимальная автоматизация гранул и безусловная экономичность.

Камера сгорания этих котлов относительно небольшая, так как основной теплосъём происходит в хорошо развитой многоходовой конвективной части котла (до 70 %). В результате такой конструкции

пеллетного котла температура уходящих газов составляет всего 100-200°C. Котел оборудован специальной гранульной горелкой объемного типа, которая обеспечивает более высокий КПД работы котла (90-93%) при сгорании гранул, чем у других категорий твердотопливных котлов, и сравнима по эффективности с котлами на природном газе.

Немаловажным фактором спроса на эти котлы является срок службы котла, который для пеллетных котлов составляет 20 лет более.

Некоторые модели котлов могут быть оснащены дополнительным контуром ГВС (горячего водоснабжения). Чистка золы осуществляется, как правило, 1 раз в месяц, а следовательно, котлы не требуют специального обслуживания.

В таблице 1 представлены результаты сравнения топлива по следующим показателям: цена за ед, стоимость получаемого 1 кВт·ч тепла, типичный КПД котлов, стоимость получаемого 1 кВт·ч тепла с учетом КПД.

Таблица 1

Стоимость получения тепловой энергии для отопления из различных видов топлива

Вид топлива	Цена за ед., руб.	Стоимость получаемого 1 кВт·ч тепла, руб.	Типичный КПД котлов (печей), %	Стоимость получаемого 1 кВт·ч тепла с учетом КПД, руб.
Магистральный газ, м.куб.	5,04	0,54	0,9	0,60
Пеллеты, кг.	6	1,26	0,8	1,57
Сжиженный газ, л.	15,3	2,71	0,9	3,01
Дизельное топливо, л.	29	2,86	0,85	3,37
Электричество	4,11	4,11	-	4,11

С целью сравнения затрат за отопительный сезон для различных видов топлива, был проведен расчет, результаты которого представлены на рисунке 1. Была вычислена стоимость отопительного сезона в расчете на утепленный по СНиПу дом площадью 100 кв.м.. Условно было принято, что активно топить необходимо с ноября по март. При этом при средней разнице температур в 25 градусов общие теплопотери составят примерно 2,3 кВт. Т.е. за сутки на отопление такого дома нужно потратить 55,2 кВт·ч. За сезон - примерно 8280 кВт·ч.

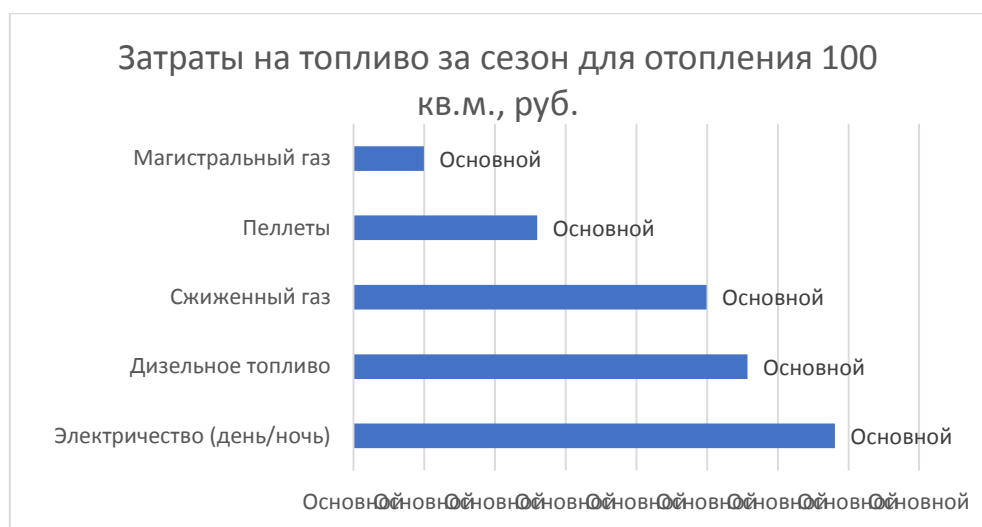


Рис. 1. Затраты за отопительный сезон для разных видов топлива на утепленный дом 100 м²

По данным рисунка 1 видно, что самыми выгодными видами топлива являются магистральный газ и пеллеты. Самым дорогим – электричество.

Далее были посчитаны сроки окупаемости отопительных систем для разных видов топлива, а результаты сведены в таблицу 3. Предположительно, в доме установлено водяное отопление с электрическим котлом мощностью 9 кВт (15 тыс. руб.) - базовый вариант. Чтобы перейти на магистральный газ, нужно заменить котел (15 тыс. руб.), установить дымоход (30 тыс. руб.) и подключиться к магистрали (от 50 до 400 тыс.руб., для расчетов примем 200 тыс.). Чтобы перейти на пеллеты нужно также установить дымоход, заменить котел на соответствующий (40 тыс.руб. за обычный и ~80 тыс. за котел с автоподачей) и подготовить помещение для хранения. Для сжиженного газа, ко всему прочему, понадобится газгольдер с установкой (190 тыс. руб.). При этом считаем, что вывоз золы и обслуживание систем далее владелец производит самостоятельно.

Таблица 2

Срок окупаемости разных отопительных систем в сравнении с электрическим котлом

Вид топлива	Окупаемость, лет
Пеллеты	2,6
Пеллеты (с автоподачей)	4,5
Магистральный газ	6,9
Дизельное топливо	9,7
Сжиженный газ	21
Электричество (день/ночь)	0

Таким образом, из проведенного обзора видно, что пеллеты являются очень перспективным альтернативным источником энергии и обладают рядом положительных качеств, таких как безопасность эксплуатации, низкая зольность, удобство хранения, высокая теплотворность, высокий КПД котла, удобство эксплуатации пеллетных котлов и экологическая чистота.

Процесс использования древесных гранул почти полностью автоматизирован, требуется лишь периодически засыпать пеллеты в топливный бункер.

Как видно, достоинств топливных гранул гораздо больше, чем недостатков. Но, тем не менее, минусы тоже очень весомы. Поэтому выбрать или нет данный вид топлива как основной для себя – решение строго индивидуальное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнение стоимости отопления на различных видах топлива [Электронный ресурс] // Производитель твердотопливных котлов. – Режим доступа: <https://koteko.com.ua/news/sravnenie-stoimosti-otoplenia-na-razlichnih-vidah-topliva>.

1. Инструкции к пеллетным котлам [Электронный ресурс] // Группа компаний «Вудхит». – Режим доступа: <http://www.woodheat.ru/quality.html>.

3. Характеристика и классификация пеллет [Электронный ресурс] // Производитель пеллет премиум класса. – Режим доступа: <http://frp-pellets.ru/harakteristiki>.

УДК 621.316.1.05

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Маловастый А.Е., бакалавр, sasha.malovasty@yandex.ru

Захаренко С.О., ассистент каф. ПТ, stanislav_zakharenko@icloud.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Целью данной статьи, а также предшествующих ей исследований и расчетов является демонстрация экономической целесообразности организации автономного энергоснабжения малых населенных пунктов в районах крайнего Севера посредством реализации в них когенерационных систем в связи с высоким уровнем затрат на строительство и обслуживание ЛЭП, высокую долю потерь энергии в них, а также

низкую эффективность топливоиспользования при раздельном производстве электрической и тепловой энергии. На основании проведенного анализа модельного ряда существующих установок и их характеристик выбран наиболее подходящий для заданных условий тип системы, а также рассчитаны основные экономические показатели, которые позволяют рекомендовать широкое применение когенерации.

Ключевые слова: когенерация, мини-ТЭЦ, энергосбережение

В настоящее время энергоснабжение малых населенных пунктов в России в основном осуществляется от централизованных источников. Так, для их электроснабжения используются линии электропередачи среднего напряжения с довольно высокой протяженностью и малой загруженностью. Помимо довольно значительных затрат по проведению таких линий имеют место и высокие издержки, обусловленные их обслуживанием и эксплуатацией. Кроме того, потери энергии в таких протяженных, но маломощных линиях зачастую составляют до 12% от потребляемой мощности. Также вследствие большой удаленности источника от потребителя нередко перебои в снабжении таких районов энергией. В связи со всеми вышеперечисленными обстоятельствами, в настоящее время необходимо вести поиск автономных и более эффективных способов снабжения малых населенных пунктов энергией. Одним из таких способов является применение когенерационных систем.

Когенерация – это процесс совместного производства тепловой и электрической энергии. Установки, реализующие данный процесс имеют значительные преимущества в экономической сфере относительно классических систем, в которых получение тепловой и электрической энергии осуществляется путем их раздельной генерации соответственно на котельных и ТЭС. Эти преимущества обусловлены тем, что затраты на их приобретение возмещаются в будущем за счет снижения расхода топлива, так как при использовании когенерации достигается эффективность топливоиспользования, недоступная при раздельном производстве энергии, когда довольно большая часть топливного потенциала не используется, а бесполезно выбрасывается в окружающую среду с дымовыми газами или через систему конденсации. Полный коэффициент полезного действия системы с раздельным производством тепла и электричества находится в пределах 60%. При этом для когенерационных систем полный коэффициент полезного действия чаще всего достигает 80-90 % (Рисунок 1).

Любая когенерационная установка состоит из четырех основных элементов:

- 1) Силового агрегата (двигателя);
- 2) Электрического генератора, служащего для преобразования механической энергии вала двигателя в электроэнергию;

3) Теплоутилизатора, в котором отработавшие в силовом агрегате горячие продукты сгорания отдают теплоту циркулирующей воде, которая в дальнейшем используется на нужды теплоснабжения;

4) Системы управления.

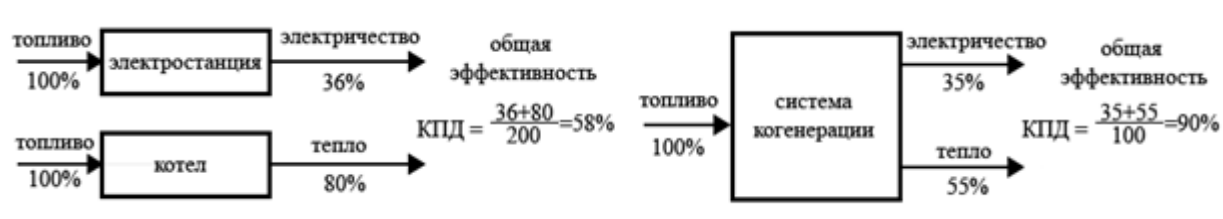


Рис. 1. Сопоставление эффективности раздельного и когенерационного производства энергии

Сердцем установки является первичный двигатель. Его вид определяет тип когенерационной установки. Таким образом, выделяют:

- 1) Установки на поршневых двигателях;
- 2) Установки на паровых турбинах;
- 3) Установки на газовых турбинах.

Каждый из этих типов имеет свои особенности и технологические характеристики (представлены в таблице 1), поэтому к их выбору надо подходить с особой внимательностью.

Таблица 1

Характеристики когенерационных установок на базе различных двигателей

Двигатель	Используемое топливо	Диапазон мощностей	Отношение тепло/электрэнергия	Электрический КПД	Общий КПД
Паровая турбина	Любое	1 - 1000	3:1 – 8:1	10 – 20%	до 80%
Газовая турбина	Газ, биогаз, дизельное топливо, керосин	0,25 - 300	1,5:1 – 5:1	25 – 42%	65 - 87%
Поршневой двигатель	Газ, биогаз, дизельное топливо, керосин	0,003 - 20	0,5:1 – 3:1	35 – 45%	65 – 90%

Как показал анализ технологических характеристик когенерационных установок на базе различных силовых агрегатов, а также их особенностей, наиболее целесообразным для энергоснабжения малых населенных пунктов будет применение систем на базе газопоршневых двигателей. Главными их достоинствами, помимо наивысшего электрического КПД, являются низкий порог эффективного применения, широкий модельный ряд, а также устойчивость к изменениям нагрузки. КПД же у установок на базе турбин при уменьшении нагрузки до

половины может снижаться в 2,5-3 раза (Рисунок 2), что вкпе с высоким порогом применения (от 5 МВт) делает невозможным осуществление гибкого управления мощностью при переменном энергопотреблении, что в свою очередь является необходимостью при реализации энергоснабжения подобного рода.

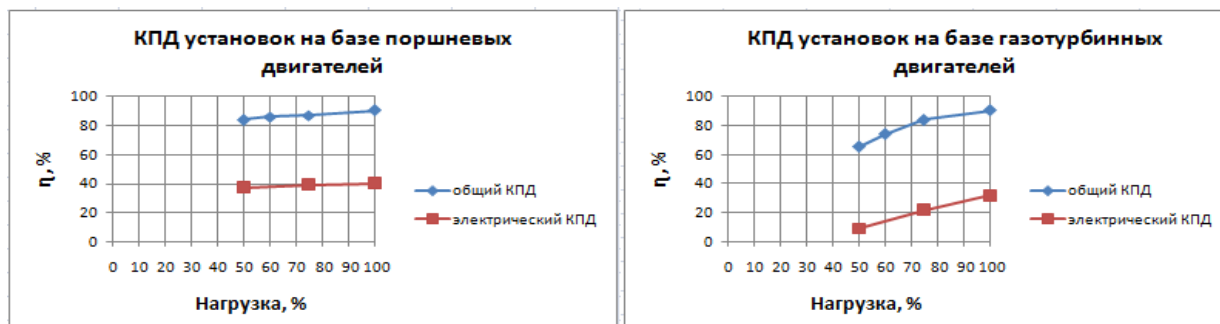


Рис. 2. Сравнение характеристик КПД при различных нагрузках

В рамках проведения исследований была смоделирована и рассчитана когенерационная система для энергоснабжения малого населенного пункта с численностью населения 3000 человек и находящегося в климатических условиях северной части Ямало-Ненецкого АО. В качестве источника была принята установка на базе трех газопоршневых двигателей марки MTU 12V4000 L33. Проведенные расчеты показали, что в указанных условиях себестоимость вырабатываемой энергии будет составлять около 1,7 руб/кВт·ч. Принимая во внимание действующий в данном регионе тариф на электроэнергию (2,78 руб/кВт·ч), можно сделать вывод о том, что окупаемость такой системы наступит уже через 7-8 лет после ввода в эксплуатацию. В случае же если на объекте изначально нет централизованного электроснабжения, необходимо учитывать не только срок окупаемости системы, но и разницу между стоимостью ее строительства и стоимостью организации централизованного энергоснабжения. Помимо этого был получен ожидаемый благоприятный эффект в области энергосбережения и экологии. Так, расчет показал, что реализация подобной системы позволит сэкономить около 1,7 млн м³ газа в год – около 33,4%, что в свою очередь приведет к аналогичному процентному уменьшению выбросов в атмосферу загрязняющих веществ.

Таким образом, анализ технологических характеристик когенерационных установок вкпе с проведенными расчетами указывает на необходимость широкого применения когенерационных систем благодаря высокому положительному экономическому и экологическому эффекту, которые достигаются за счет большей эффективности топливоиспользования по сравнению с централизованными системами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замоторин, Р. В. Малые теплоэлектроцентрали – поршневые или турбинные / Р. В. Замоторин // Энергосбережение в Саратовской области. - 2009. - № 2. - С. 34-42.
2. Барков, В. М. Когенераторные технологии: возможности и перспективы / В. М. Барков // «ЭСКО» - электронный журнал компании «Экологические системы». - 2011. - № 7. – С. 21-30.
3. Ситников, В. И. Экологические выгоды когенерации. / В. И. Ситников // «ЭСКО» - электронный журнал компании «Экологические системы». - 2009. - № 8. - С. 10-22.
4. Данилов, Н. И. Основы энергосбережения : учеб. пособие для вузов / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Екатеринбург : Автограф, 2011. – 592 с.

УДК 620.92

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА

Рыдалина Н.В., аспирант, rydalina@rambler.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Использование пористых металлов является наиболее перспективным направлением при создании компактных и высокоэффективных теплообменных аппаратов. В целях изучения возможности увеличения плотности теплового потока, на экспериментальной установке проводится исследование теплообменников. Рабочей средой в теплообменниках является пористый металл. Приводится схема экспериментальной установки и методика проведения эксперимента. Так же приведены результаты эксперимента и результаты их обработки. По результатам опыта сделаны выводы.

Ключевые слова: Пористый металл, увеличение теплообмена, теплообменник.

В соответствие с федеральным законом "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ вопросы энергосбережения в различных отраслях промышленности и коммунального хозяйства настоящее время являются весьма актуальными [1]. Для этого используются новые конструкции, технологии и материалы, к которым относятся пористые металлы. Весьма

перспективно применение пористых металлов при создании компактных высокоэффективных теплообменных аппаратов различного назначения, которые являются основным элементом холодильных установок, тепловых насосов, конденсаторов паровых турбин [2, 3]. Использование пористых металлов позволяет увеличить теплосъем порядка 150 раз.

Кафедра промышленной теплоэнергетики Тюменского индустриального университета принимает активное участие в разработке нового оборудования, которое может быть использовано в тепловых и любых инженерных сетях. На кафедре создана лабораторная установка, позволяющая изучать теплообменные свойства пористых металлов.

Схема экспериментальной установки, позволяющей оценить интенсивность теплообмена в теплообменниках, содержащих пористые структуры, представлена на рис. 1.

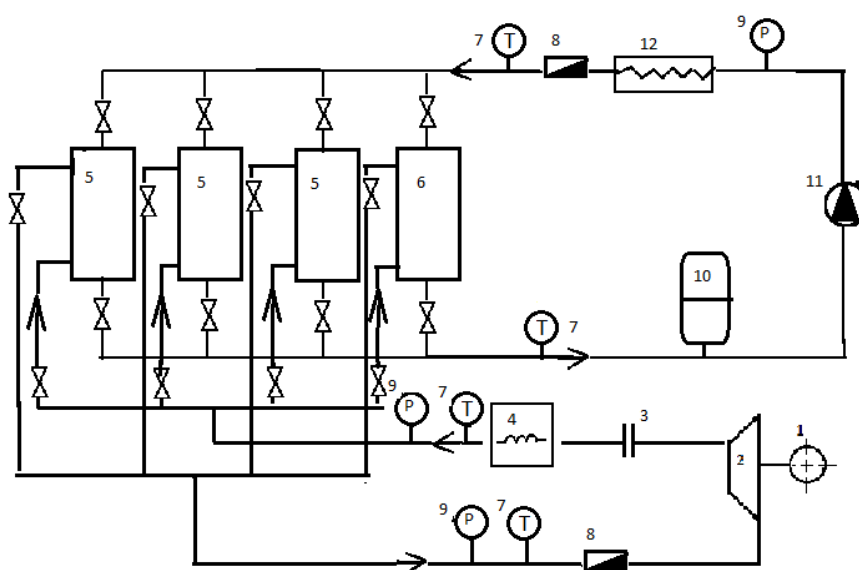


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – Электродвигатель; 2 – Компрессор; 3 – Конденсатор; 4 – Дроссель; 5 – Теплообменник с пористыми вставками; 6 – Стандартный теплообменник; 7 – датчик температуры; 8 - расходомер; 9 - датчик давления; 10 - расширительный бак; 11 – Насос; 12 – котел

Теплообменники представляют собой совокупность из 19 медных трубок для течения воды, на которые одеты по четыре цилиндрические вставки из алюминия с одинаковой пористостью. В первом теплообменнике пористость вставок 0,53, во втором теплообменнике пористость вставок 0,52 и в третьем теплообменнике пористость вставок 0,51.

Пористые вставки имеют форму цилиндров с 19 отверстиями диаметром по 6 мм, для трубок по которым движется вода. Размеры вставок высотой 50 мм и диаметром 49 мм. Для изготовления пористых вставок использован пористый алюминий.

Порядок проведения эксперимента был следующим. В опыте использовался только один теплообменник, теплообменники, не участвующие в эксперименте перекрывались при помощи шарового крана. Во фреоновом контуре поступление фреона в теплообменники регулируется шаровыми вентилями, поэтому в теплообменники, не участвующие в эксперименте поступление фреона было перекрыто.

Производился замер изменения температуры на входе в теплообменный аппарат и на выходе из него при различных показаниях расхода. Регулировка расхода воды производилась шаровым краном. Показания расхода так же фиксировались. Показания изменения температуры снимались по 10 раз, с целью исключения случайных погрешностей, при каждом изменении расхода.

Эксперименты проводились на каждом теплообменнике при четырех значениях расходах воды. В результате был получен массив данных, позволяющий косвенным методом оценить интенсивность теплообмена.

Полученные данные были обработаны, оценен коэффициент вариации совокупности данных по разности температур на входе и выходе из теплообменника. Значения коэффициента вариации были определены для каждого изменения массового расхода и составили от 1 до 8 %, что свидетельствует о небольших отклонениях от средних показателей по совокупности и однородности совокупности полученных данных.

Интенсивность теплопередачи определялась на основании уравнения теплового баланса и мощности теплообменного аппарата (1):

$$Q = m_1 \cdot c_{pm1} \cdot (t_1 - t_2) = m_2 \cdot c_{pm2} \cdot (\tau_1 - \tau_2) = k H \Theta_m, \quad (1)$$

где m_1 - массовый расход воды, кг/с; m_2 - массовый расход фреона, кг/с; c_{pm1} и c_{pm2} - изобарные массовые теплоемкости для воды и фреона; t_1 и t_2 - температура воды до и после испарителя; τ_1 и τ_2 - температура фреона до и после испарителя; k - коэффициент теплопередачи Вт/(м²·К); H - площадь теплопередающей поверхности; Θ_m - средний температурный коэффициент.

Величина коэффициента теплопередачи определяется по уравнению (2):

$$k = \frac{M_1 \cdot c_{pm1} \cdot (t_1 - t_2)}{H \Theta_m}. \quad (2)$$

Проведя анализ полученных и сгруппированных данных можно отметить, что при одних и тех же массового расхода интенсивность теплообмена выше у теплообменника 1 с пористыми вставками с наибольшим коэффициентом пористости, а у теплообменника 4 без пористых вставок интенсивность теплообмена ниже чем у остальных теплообменников. Результаты представлены на рис. 2.

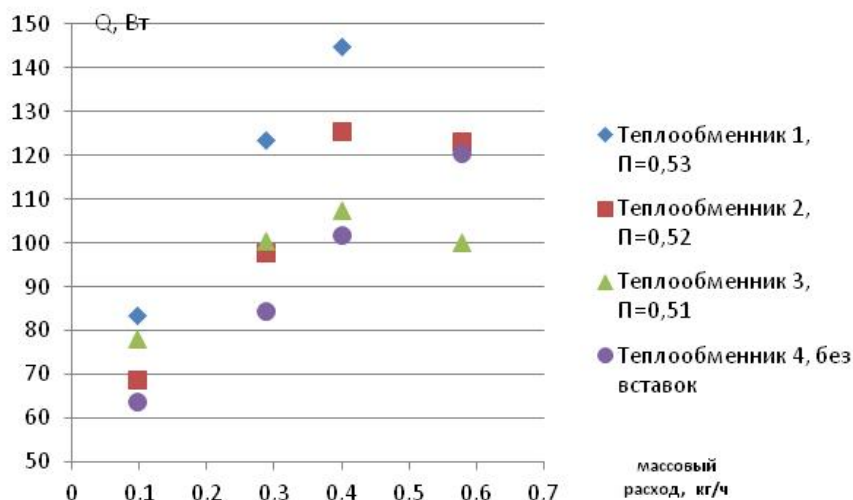


Рис. 2. Результаты косвенных измерений интенсивности теплообмена в теплообменниках с пористыми вставками и без них

Анализ расчетных и экспериментальных значений интенсивности теплообмена показывает, что интенсивность теплообмена выше в теплообменниках 1,2,3 (с вставками) по сравнению с теплообменником 4 (без вставок). Кроме того, с увеличением пористости интенсивность теплообмена увеличивается

Таким образом, установлено, что использование пористых металлов в рассматриваемых конструкциях теплообменников позволяют создать большую величину теплового потока по сравнению с обычными. В связи с этим появляется возможность создания схем холодильных установок с испарителями на пористых металлах.

С целью проведения новых экспериментов по изучению перспективных новых материалов проводится работа для повышения хладопроизводительности установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/.

2. Попов, И. А. Гидродинамика и теплообмен в пористых теплообменных аппаратах. Интенсификация теплообмена / И. А. Попов. – Казань : Центр инновационных технологий, 2007. – 240 с.

3. Современные теплообменные аппараты в низкотемпературной технике и перерабатывающих производствах / А.А. Малышев [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Холодильная техника и кондиционирование. - 2015. - № 1. - С. 38-44.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Семенова Т. С., обучающийся, semenova-1998@bk.ru

Быта А. О., обучающийся, Ania.byta@yandex.ru

Германова Т.В., канд. техн. наук, доцент, esogtv@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье будут рассмотрены различные виды термометров и принцип работы, а также погрешность измерений. Целью статьи является рекомендация для использования термометра с наименьшей погрешностью в теплоэнергетике. И подведем итог о проделанной работе.

Ключевые слова: температурные измерители, термометр, погрешность.

Мы часто пользуемся термометром для определения температуры воздуха на улице или температуры тела, однако этим применение термометра вовсе не ограничивается. На сегодняшний день существует множество способов измерить температуру вещества, а современные термометры совершенствуются до сих пор. Опишем наиболее распространённые типы измерителей температуры.



Рис.1.Схема температурных измерителей

Согласно схеме, рассмотрим с расширенных термометров, которые представляют собой жидкостные стеклянные термометры.

Эту группу измерительных приборов составляют термометры, которые монтируются непосредственно по месту, в котором проводится

замер требуемого параметра. В виде реагирующего вещества, используемого для отображения температурного режима, используется традиционная ртуть.

Данный вид термометров обладает наиболее простой конструкцией, которая включает в себя две основные детали: резервуар и стеклянный капилляр. В капилляре находится указующее вещество, а сам он располагается вдоль специальной шкалы с нанесенной на ней делениями, отображающими градусы Цельсия. Капилляр полностью запаян для предотвращения пролива или испарения находящегося внутри вещества.

Выше верхнего предела шкалы, в капилляре находится один из инертных газов, который предотвращает разрыв трубки при превышении пределов измерения. Все детали в сборе дополнительно заключены в стеклянную капсулу, служащую защитной оболочкой.

Пределы измерений зависят от температурных свойств вещества, которое служит индикатором. Для ртути эти пределы - от -35 до $+650^{\circ}\text{C}$, для метилбензола – от -90 до $+200^{\circ}\text{C}$, для керосина - от -60 до $+300^{\circ}\text{C}$, для спирта от -80 до $+70^{\circ}\text{C}$.

Допустимые погрешности измерения технических термометров не должны превышать одного деления. Так, для пределов измерения от 0°C до 100°C при цене деления в 1 или 2°C допустимая погрешность составляет 1 или 2°C .

Следующий расширенный вид термометра рассмотрим манометрический термометр

Манометрический термометр имеет уже более сложную конструкцию, нежели простой стеклянный. Основными элементами служат баллон, помещаемый в контрольную точку температурного режима, капилляр, имеющий вид соединительной трубки, и обычный пружинный манометр.

Внутри баллона находится под давлением газ, изменение давления которого передается по капилляру на пружину манометра, где стрелка указывает на соответствующее значение шкалы, градуированной в Цельсиях.

Методические погрешности манометрических термометров вызываются действием ряда факторов: 1) отсутствием термодинамического равновесия между термобаллоном, его наполнителем и исследуемой средой 2) отклонением температуры или внешнего давления от условий, для которых рассчитывался и градуировался термометр 3) гидростатическим давлением, зависящим от разности уровней расположения термобаллона и регистрирующих звеньев прибора.

Завершающий тип этой подгруппы является дилатометрический термометр.

Термометры этого типа для измерения температуры используются сравнительно редко. Они находят применение главным образом в качестве

первичных измерительных преобразователей в системах автоматического регулирования температуры.

Нижняя часть термометра полностью погружается в среду, температура которой измеряется. При повышении температуры среды труба удлиняется больше, чем стержень, вследствие чего стержень перемещается вниз. При перемещении стержня одновременно приводится в движение рычаг, который при заданной температуре размыкает контакты, а вместе с тем и электрическую цепь регулирующего устройства.

Дилатометрические термометры работают в диапазоне температур от 0 до 1000°C с погрешностью до $\pm 5\%$. Из-за большой погрешности дилатометрических устройств их редко используют в качестве термометров. Чаще их используют как терморегуляторы, термовыключатели и тепловые реле.

Рассмотрим следующий вид это - электрический термометр сопротивления.

В основе действия данного вида измерительных средств лежит принцип изменения электрического сопротивления некоторых видов металлов под воздействием повышенных температур. Сам чувствительный элемент прибора представляет собой проволочную спираль, которая намотана на основание из изоляционного материала. Измерительный датчик защищен специальной оболочкой, дополнительно укрепленной керамической вставкой.

Для оборудования котельных, чаще всего, применяются термопары, в качестве изоляционного материала которых используется медь. Это дает возможность измерять температуры в диапазоне от -50 до +600°C, что вполне достаточно для газовых или мазутных котельных. При повышении или понижении температуры, в спае происходит пропорциональное изменение ЭДС, что в показаниях подключенного милливольтметра выглядит в виде вполне обычных цифр.

Термометры сопротивления в большинстве случаев считаются имеющими стандартную зависимость сопротивление-температура (НСХ), что обеспечивает погрешность не более 0,1 °C (класс термосопротивлений АА при 0 °C)

Так же следует рассказать про термоэлектрические термометры.

Термоэлектрические термометры — основной прибор для измерения температуры в тепловых установках стекольного производства. Работа термоэлектрического термометра основана на возникновении термоэлектрического тока в процессе нагревания места спаев. Электродвижущая сила тока тем больше, чем значительнее разница в термоэлектрических термометрах «горячего» и «холодного» спаев. «Горячий» спай вводят в печное пространство там, где требуется замерить температуру.

Наиболее распространены следующие термоэлектрические термометры: платино-платинородиевые, хромель-алюмелевые и железо-копелевые. При измерении температур 100—700° С применяют железо-копелевые термоэлектрические термометры, при 700—1000° С хромель-алюмелевые, при 800—1600° С платино-платинородиевые.

В качестве записывающих приборов применяют самопишущие гальванометры и потенциометры. В самопишущих приборах температурные кривые наносятся на бумажной ленте, движущейся в приборе с постоянной скоростью.

К ним предъявляются высокие требования по точности измерения, так как повышение температуры газов на 1% снижает предел прочности лопаток турбины силовой установки на 3-10%, а снижение температуры на 1% увеличивает прочность лопаток, но уменьшает тягу силовой установки на 2-3%.

Таким образом, электрический термометр сопротивления является лучшим для измерения температуры для теплоэнергетике, так как современные термопреобразователи сопротивления – это надежные и функциональные устройства, обеспечивающие проведение замеров на уровне, недоступном для других датчиков. Для оптимального результата измерений важно выбрать тип терморезистора с характеристиками, подходящими для работы в конкретных условиях и определенном температурном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Термоэлектрические термометры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.su/12_167_termoelektricheskie-termometri.html
2. Термометры сопротивления [Электронный ресурс] // Информационный портал. – Режим доступа: http://temperatures.ru/pages/termometry_soprotivleniya
3. Термометры-метрология и технические измерения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bstudy.net/689867/tehnika/termometry>
4. Термометры для измерения температуры воды в системе отопления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teplo-ltd.ru/otoplenie/termometry-dlya-izmereniya-temperaturey-vody-v-sisteme-otopleniya.html>
5. Разнообразие термометров и их применение измерения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ecounit.com.ua/artikle_106.html

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Семенова Т. С., обучающийся, semenova-1998@bk.ru

Антонова Е. О., канд. техн. наук, доцент, antonovaeo@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Сейчас энергетические ресурсы достаточно дороги и в значительной мере влияют на экономику государства, к тому же общество испытывает озабоченность по поводу глобального изменения климата. Целью данной статьи является рассмотрение выгодности и важности использование возобновляемого источника энергии, а именно – солнечной энергии. В статье приведены основные преимущества и недостатки выбранного источника энергии, к тому же проведен расчет мощности батареи для определения экономичности. В ходе работы приведено сравнение установки для освещения на электроэнергии и автономного светильника. В итоге, после вычисления стоимости оборудования, был рассчитан срок окупаемости уличного светильника на солнечных батареях марки SL-40.

Ключевые слова: солнечные батареи, электроэнергия, освещение.

Отношение к альтернативным источникам энергии в настоящее время постепенно начинает меняться. Эти устройства с успехом проявляют себя в сфере промышленности, сельского хозяйства, военно-космических отраслях и даже в быту. Поэтому в данной статье я рассмотрю одно из интересных направлений – уличное освещение на солнечных батареях.

Как и у любого источника энергии у солнечной есть свои преимущества:

1) Вседоступность (солнце есть практически в любой точке планеты).

2) Возобновляемость (в отличие от ископаемых видов топлива, солнце, по данным NASA, еще около 6,5 млрд. лет будет согревать жителей Земли).

3) Экологичность (солнечные батареи при работе не сопровождаются выбросом вредных веществ в атмосферу).

4) Бесшумность (по сравнению с генераторами преобразование солнечной энергии в электрическую проходит практически бесшумно).

Безусловно существуют и недостатки. К недостаткам относится зависимость от погодных условий. Кроме того для высокой производительности и максимального накопления солнечной энергии панели должны быть чистыми, поэтому существует необходимость регулярного их обслуживания.

Для лучшего понимания, как же все таки работают солнечные батареи, можно обратиться к рис. 1.



Рис. 1. Принцип работы фотоэлектрической системы

Эффективность солнечных батарей складывается из нескольких факторов: широта места, время года, коэффициент инсоляции для данного района, угол падения солнечного света на панель батареи, коэффициент полезного действия определенного вида батареи. Так как среднегодовая продолжительность солнечного сияния в Тюмени составляет 2066 часов (Для сравнения, в Москве – всего 1582 часа), то в этом городе можно воспользоваться бесконечным запасом солнечной энергии.

В настоящее время довольно быстро происходит эволюция применения солнечных батарей – от космической промышленности до их использования в частных домах. Также солнечная энергия широко применяется в системе уличного освещения. Фонари снабжены аккумуляторами, в которых днём накапливается электрический заряд, обеспечивающий бесперебойное освещение в тёмное время суток иногда более 10 часов.

Для расчета мощности солнечной батареи на одном уличном светильнике необходимо:

1. Заменить лампы на светодиодные, работающие от 12В, с мощностью 10 Вт. Так как если использовать лампы на 220 В, то понадобится инвертор, преобразующий 12 В в 220 В.

2. Рассчитать среднюю продолжительность работы освещения. А это примерно 12 часов.

3. Найти необходимое количество энергии в день:

$$E = N * n = 10 * 12 = 120 (\text{Вт} * \text{ч} / \text{сут}),$$

где N – мощность лампы, Вт; n – продолжительность рабочего периода, ч/сут.

4. Узнать по таблице 1 самый низкий уровень инсоляции для г. Тюмени.

Уровень инсоляции для г. Тюмени

	Солнечная инсоляция, кВт*ч/м ²	Оптимальный угол наклона
Январь	1,52	74
Февраль	2,63	65
Март	3,99	53
Апрель	5,25	38
Май	5,69	22
Июнь	6,29	13
Июль	5,82	19
Август	4,47	28
Сентябрь	3,35	45
Октябрь	2,44	60
Ноябрь	1,93	72
Декабрь	1,16	77
Среднее за год	3,72	47

5. Производительность солнечной установки в декабре составит:

$$Q = i * \eta = 1,16 * 0,2 = 0,232(\text{кВт} / \text{сут})$$

где i – коэффициент инсоляции; η – средний КПД для солнечной батареи. Значит, в сутки 1 м² поверхности батареи с выбранными параметрами будет производить примерно 200 Вт электроэнергии.

6. Для определения требуемой емкости аккумулятора предположим, что самый длительный период плохой погоды – 10 дней. Тогда энергию, которую нужно запасти считаем по формуле:

$$C = E * 10 = 1200(\text{Вт} * \text{ч})$$

Аккумулятор берем емкостью 200 А*ч для того, чтобы батарея работала и в пасмурную погоду.

Для расчета стоимости и выгоды возьмем для примера уличный светильник на основе лампы ДНаТ-250, потребление у которого составляет 300 Вт/час. Динамика изменения стоимости эксплуатации данного светильника на 2018-2021 гг. представлена в таблице 2.

Таблица 2

Динамика изменения стоимости эксплуатации светильника ДНаТ-250

Годы	Количество (шт)	Потребление в год (режим 12 час./сутки), кВт	Цена 1 кВт, руб. без НДС (+15% ежегодно)	Стоимость потребления в год, руб.	Стоимость разрешения на мощность*	Затраты на обслуживание в год	Стоимость светильника, руб.	Стоимость владения ДНаТ-250 с учетом всех затрат нарастающим итогом
2018	11	1 1314	110,55	113862,7	7 7260,0	3 3072	3 3500	227694,70
2019	11	1 1314	112,13	115938,8		3 3072		446704,82
2020	11	1 1314	113,95	118330,3		3 3072		668107,12
2021	11	1 1314	116,04	221076,5		3 3072		992255,08

Из данной таблицы видно, что четырехлетний период стоимость уличного освещения от электроэнергии составит около 92 тысяч рублей.

Для сравнения возьмем автономный уличный светильник на солнечных батареях модели SL-40 стоимостью 60 тысяч рублей, который мы могли бы установить в 2018 году, и учтем затраты на обслуживание за 4 года – 12 тысяч рублей (3000 руб/год). Значит сумма затраченная на автономный светильники составит 72 тысячи рублей за период с 2018 по 2021 года.

Отсюда можно сделать вывод, что срок окупаемости освещения от альтернативного источника составляет чуть более 3 лет одного года, учитывая, что срок службы солнечной батареи более 30 лет. Установив уличный светильник на солнечных батареях сейчас, мы сделаем вклад в недалекое будущее не только в сфере экономии, но и в сохранении окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнечная энергетика. Методы расчетов / В. И. Виссарионов [и др.]. - Москва: "Солнечная энергетика" МЭИ, 2008. – 317 с.
2. Солнечные батареи, фонари и светильники для освещения участка [Электронный ресурс] // Онлайн-журнал «Электрознаток». – Режим доступа: <https://elektroznatok.ru/osveshhenie/ulichnoe-osveshhenie-na-solnechnyh-batareyah>
3. Каталог продукции «SUNSHINES солнечная энергетика» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://sun-shines.ru/wp-content/uploads/2018/Catalog-SunShines.pdf>

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ткаченко Г. Н., магистрант, tkachenko_g_n@mail.ru.
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье условно рассматриваются основные характеристики для установки ветроэнергетической установки в Тюменской области. Был проведен сбор информации и анализ средней скорости ветра по региону. Используя собранные данные, а также данные из справочников по скорости ветра, определено предполагаемое время работы и простоя установки. Опираясь на проведенные для данной статьи исследования, был сделан вывод о текущем состоянии отрасли в заданном регионе.

Ключевые слова: ветер, ВЭУ, эффективность, энергоснабжение.

В настоящее время темпы развития ветроэнергетики в России значительно отстают от мировых. Летом 2018 года замглавы Минэнерго Алексей Текслер озвучил, что на данный момент в ведомости обсуждаются объемы выработки энергии на основе возобновляемых источников энергии после 2024 года. Что касается ветровой энергии, к 2024 году выработка должна составлять 3 ГВт. В рамках утвержденной программы возобновляемой генерации в России планируется построить объекты общей выработки 5,9 ГВт энергии. Из слов министра энергетики России Александр Новака следует, что было выбрано 120 объектов и привлечено порядка 306,5 млрд руб. инвестиций.

Активно развивается энергоснабжение за счет генерирования энергии ветра в следующих регионах России: Ульяновск, Дзержинск, где запущено производство гондол для ветрогенераторов, и Волгодонск, в котором будут производить стальные башни для ветряков. По словам губернатора Ростовской области, Василия Голубева, ветропарки планируется построить в Азовском, Каменском, Красносулинском, Волгодонском, Дубовском районах.

Тюменская область не является одним из наиболее перспективных регионов для энергоснабжения за счет энергии ветра. Но поскольку развитие данного направления планируется и поддерживается на государственном уровне, следует оценить состояние ветроэнергетики в данной области.

Ветроэнергетические установки в Тюменской области в основном используют единичные потребители для индивидуального энергоснабжения, как дополнительный источник энергии. В основном это связано с ветровыми характеристиками региона, а также высокой стоимостью оборудования.

Соберем и рассмотрим данные о скорости ветра, зафиксированные метеорологической станцией в данном регионе на отметке 10 м. Скорость ветра измерялась и фиксировалась каждые 3 часа в течение года. Для актуальности расчетов был выбран период с 2014 по 2017 гг, данные сведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ветра на отметке 10 м

Хар-ка Период	2014 г.				2017 г.			
	w_{cp} , м/с	Напр.	w_{max} , м/с	w_{min} , м/с	w_{cp} , м/с	Напр.	w_{max} , м/с	w_{min} , м/с
Янв	2,30	ЮЗ	3,63	0,25	1,88	ЮЗ	4,00	0,63
Фев	2,18	СЗ	4,31	0,87	2,60	Ю	4,94	0,38
Март	3,41	ЮЗ	6,44	1,5	2,75	Ю	4,44	1,13
Апр	3,43	ЮЗ	8,13	1,63	3,75	ЮЗ	7,44	1,38
Май	2,90	ЮЗ	6,31	1,38	2,85	З	5,13	1,50
Июн	2,72	СЗ	6,38	1,13	2,47	Ю	5,56	0,75
Июл	2,57	СЗ	5,88	1,13	1,84	СЗ	3,69	0,75
Авг	2,09	СЗ	4,75	1,25	1,87	ЮЗ	3,44	0,88
Сен	2,21	ЮЗ	5,44	0,38	2,26	СЗ	4,63	0,75
Окт	2,49	З	5,56	0,88	2,31	ЮЗ	6,31	0,38
Нояб	2,85	ЮЗ	6,06	1,13	1,87	Ю	3,75	0,38
Дек	2,38	Ю	4,44	1,00	1,86	Ю	3,25	0,5
Год	2,63	ЮЗ	5,61	1,04	2,36	Ю	4,72	0,78

Направление ветра является важным в тех случаях, когда ветрогенератор не имеет гондолы или системы автоматического поворота, а также при самостоятельном конструировании генераторов.

Чтобы оценить целесообразность установки ВЭУ в заданном регионе, а также для определения ее мощности, необходимо знать количество часов простоя установки, помимо среднего значения скорости ветра. Данные, когда скорость ветра приравнивалась к нулю, сведем в табл. 2

Статистика наблюдения штиля в период 2014 – 2017 гг.

Хар-ка Период	2014 г.		2017 г.	
	Кол-во дней	%	Кол-во дней	%
Янв		9,70	5	16,10
Фев	2	7,10	1	3,60
Март	0	—	0	—
Апр	0	—	0	—
Май	0	—	0	—
Июн	0	—	1	3,33
Июл	0	—	2	6,45
Авг	0	—	1	3,20
Сен	3	10,00	1	3,33
Окт	2	6,45	5	16,13
Нояб	0	—	6	20,00
Дек	1	3,2	4	12,9
Год	11	3,01	26	7,12

Данные из таблицы для удобства представим на диаграмме, рис. 1.

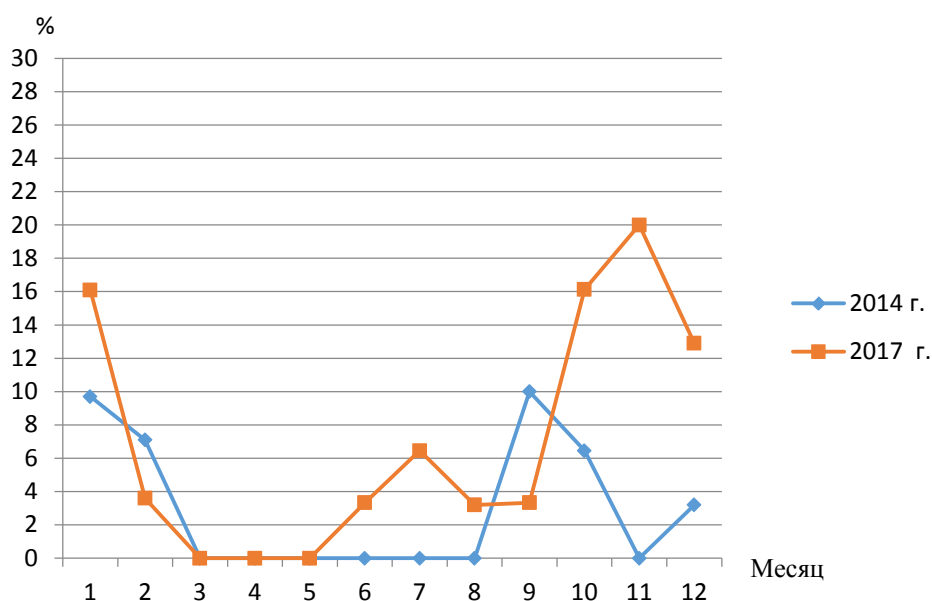


Рис. 1. Распределение штиля по месяцам.

На диаграмме видно, что в 2017 гг. вероятность штиля была выше. При этом наиболее частые затишья наблюдаются в зимний период времени, что отрицательно влияет на эффективность установки ВЭУ в данном регионе.

Найдем общее время работы ветроагрегата t_p , ч, используя формулу (1):

$$t_p = \frac{f(u \geq u_0)}{100}, \quad (1)$$

где $f(u \geq u_0)$ – вероятность превышения фактической скорости ветра над начальной скоростью ветроагрегата, %; T – количество времени превышения скорости, ч, определяется в зависимости от рассматриваемого периода: год – 8760 ч., полугодие – 4380 ч., месяц – 720 ч. и так далее.

Значения $f(u \geq u_0)$ зависят от параметров режима ветра, $\frac{u_0}{\bar{u}}$ и c_u , они рассчитаны и приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения функции Вейбулла $\left[F(u \geq u_0) = e^{-\left(\frac{u_0}{\bar{u}}\right)^{\beta}}, \% \right]$ в зависимости от u_0/\bar{u} при различных коэффициентах вариации $c_u = 0,40 \dots 0,60$

u_0/\bar{u}	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
0,3	97,3	96,8	96,2	95,5	94,9	94,2	93,4	92,6	91,9	91,1	90,2
0,35	95,9	95,2	94,5	93,7	92,8	92,0	91,1	90,2	89,4	88,5	87,4
0,4	94,2	93,3	92,4	91,5	90,5	89,6	88,5	87,5	86,6	85,4	84,4
0,45	92,1	91,0	90,0	89,9	87,8	86,7	85,7	84,5	83,5	82,3	81,2
0,5	89,6	88,4	87,2	86,1	84,9	83,7	82,6	81,3	80,3	79,1	77,9
0,55	86,8	85,4	84,2	82,9	81,7	80,4	79,3	78,0	77,0	75,7	74,6
0,6	83,5	82,1	80,8	79,5	78,2	77,0	75,8	74,5	73,5	72,2	71,1
0,65	79,9	78,5	77,2	75,8	74,6	73,3	72,2	70,9	69,9	68,7	67,6
0,7	76,0	74,6	73,3	72,0	70,8	69,6	68,4	67,3	66,3	65,2	64,2
0,75	71,8	70,4	69,2	68,0	66,8	65,7	64,6	63,6	62,7	61,5	60,6
0,8	67,3	66,1	65,0	63,8	62,8	61,8	60,8	59,8	59,0	58,0	57,2
0,85	62,7	61,6	60,4	59,6	58,7	57,8	57,0	56,1	55,4	54,5	53,8

Учитывая, что для г. Тюмени $\frac{u_0}{\bar{u}} = 0,83$ и $c_u = 0,6$ найдем значение вероятности $f(u \geq u_0) = 55,16 \%$

Тогда, пользуясь формулой рассчитаем время работы ветроагрегата за год $t_p^{год}$ в заданных нами условиях.

$$t_p^{год} = \frac{55,16 \cdot 8760}{100} = 4832 \text{ ч}$$

Чтобы определить суммарное количество часов простоя ВЭУ используется формула (2)

$$t_n = T - t_p. \quad (2)$$

Рассчитаем суммарное время простоя год $t_n^{год}$.

$$t_n = 8760 - 4832 = 3928 \text{ ч}$$

Подводя итоги, можно сказать, что на сегодняшний день в Тюменской области характеристики ветра недостаточно высоки для широкого применения ВЭУ в целях энергоснабжения. Во-первых, средняя скорость ветра недостаточно высока и постоянна для установки агрегатов большой мощности. Во-вторых, энергетика данной области больше

направлена на использование традиционных видов топлива, запасы которых еще велики. В-третьих, поскольку в самой Тюменской области и ближних её регионах не налажено производство ветроэнергетических установок, затраты на масштабные проекты по энергоснабжению за счет энергии ветра могут быть слишком большими и, вполне возможно, не окупятся. Тем не менее, вполне возможно использование ветрогенераторов небольших мощностей для индивидуального использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магомедов, А. М. Бестопливная энергетика : Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / А. М. Магомедов. - Махачкала : Юпитер, 1996 год – 245 с.
2. Шефтер, Я. И. Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты / Я. И. Шефтер, И. В. Рождественский. - Москва : Колос, 1967. - 376 с.
3. Белей, В. Ф. Ветроэнергетика России: анализ состояния и перспективы развития / В. Ф. Белей, А. О. Задорожный // Энергия. - 2018. - № 8 – С. 2-15.
4. Пугачев, Р. В. Совершенствование методов расчета основных энергетических показателей и характеристик ветроэнергетики [Рукопись] : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.08 / Р. В. Пугачев ; МЭИ. - Москва, 2006. - 169 с.
5. Справочник специалиста. — Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1991. — 248 с.

УДК 621.311.22

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОФИКАЦИИ

Третьякова П. А., преподаватель кафедры ПТ, tretjakovapa@tyuiu.ru
Антипин А. В., бакалавр, Antipin.A.V@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности ТЭЦ за счет оптимизации коэффициента теплофикации. Приведены основные параметры, влияющие на данный коэффициент: КПД теплофикационной турбины, выработка электроэнергии на тепловом теплоснабжении, КПД замещаемой конденсационной электростанции и котельной, влияние наружной температуры и доли горячего водоснабжения. Предложена методика расчета α , и на основе реализации данной методики в программной среде на примере климатических данных г.Тюмень и блока Т-100-130 найдем оптимальный коэффициент теплофикации, который составляет 0,62.

Ключевые слова: коэффициент теплофикации, КПД, тепловая нагрузка, выработка электроэнергии на тепловом теплоснабжении.

Тепловая нагрузка в отопительный период изменяется в соответствии с температурным графиком теплоснабжения и имеет минимальную мощность при включении отопления и максимальную мощность для расчётных температур. Тепловая станция должна покрывать всю тепловую нагрузку во всем диапазоне изменения температур и для повышения коэффициента использования топлива часть тепловой нагрузки покрывается теплофикационными отборами турбин (комбинированная выработка тепла и электричества). Отношение тепловой мощности теплофикационных отборов паровых турбин к суммарной тепловой мощности теплофикационных отборов турбин и отопительных котельных называется – коэффициентом теплофикации.

Как показывают проведённые исследования при работе КЭС, ТЭЦ и котельных на органическом топливе примерно одинаковой стоимости, оптимальное значение коэффициента теплофикации лежит в пределах от 0,35 – до 0,7. Зависит в основном от технического совершенства оборудования ТЭЦ, КЭС.

Существуют различные методики определения рассматриваемого параметра. Так, например, Салмановым Ф. К. было предложено, что при оптимальном коэффициенте теплофикации производная прироста удельной экономии годовых расчётных затрат по приросту электрической приравнивается к нулю.

Багданович М. предложил определять оптимальный коэффициент теплофикации парогазовой теплоэлектроцентрали по экономическому критерию эффективности (максимуму чистого дисконтированного дохода) и описал зависимость отклонения ЧДД от отклонения коэффициента теплофикации. [2]

В соответствии с Рыжкиным В.Я. [3], доля выработки тепловой энергии, отданная пиковыми котлами, зависит от числа отработанных часов паровой турбины в конденсационном режиме и степени загрузки ТЭЦ и котельного оборудования.

Основные факторы, которые воздействуют прямо пропорционально на данный показатель:

- КПД теплофикационной паровой турбины;
- выработки электроэнергии на тепловом потреблении;
- КПД замещающей конденсационной электростанции и котельной;
- наружной температуры и доли горячего водоснабжения на значения этого коэффициента.

Рассмотрим каждый из них подробнее.

1 параметр - КПД теплофикационной паровой турбины находится по формуле:

$$\eta_e^{ycm} = \eta_i^u \cdot \eta_{nz} \cdot \eta_z \cdot \eta_m^m, \quad (1)$$

где η_i^u – абсолютный внутренний КПД действительного теплофикационного цикла; η_{nz} – КПД парогенератора; η_z – КПД электрического генератора; η_m^m – механический КПД турбины.

Абсолютный внутренний КПД действительного теплофикационного цикла зависит от потерь тепловой энергии в конденсате, при увеличении расхода пара в отборе турбины снижается расход пара на конденсатор, что приводит к увеличению внутреннего КПД.

2 параметр – выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

Количество теплоты, отдаваемой внешнему потребителю в реальном цикле, составит:

$$Q_{en} = G_{om} \cdot (h_{1om} - h_{3\prime\prime}). \quad (2)$$

Удельная выработка электроэнергии в реальном цикле с отбором пара равна:

$$\mathcal{E}_m = \frac{h_1 - h_{1\prime}}{h_{1om} - h_{3\prime\prime}} \cdot \eta_{oi}^{ueo} \cdot \eta_z \cdot \eta_m, \quad (3)$$

где h_{1om} – энтальпия пара, поступающего в отбор; h_1 – энтальпия пара перед турбиной; $h_{1\prime}$ – энтальпия пара, идущего в отбор; $h_{3\prime\prime}$ – энтальпия конденсата, поступающего из бойлера.

Уменьшение энтальпии пара в теплофикационном отборе при прочих равных условиях, влечет за собой увеличения удельного выработка электроэнергии. При этом уменьшается доля тепла, вырабатываемого в сетевых подогревателях ТЭЦ, увеличивается нагрузка замещающей котельной. [4]

3 параметр – КПД замещающей конденсационной электростанции и котельной.

При увеличении выработки электроэнергии уменьшается выработка тепла, и данная нагрузка падает на замещающую котельную, на которой будет вырабатываться недостающее количество тепла. А если наоборот, то нагрузка будет падать на замещающую КЭС и будет вырабатывать не достающую электроэнергию.

4 параметр - наружной температуры и доли горячего водоснабжения на значения этих коэффициентов.

Полный отпуск теплоты за отопительный сезон определяется по формуле:

$$Q_{c.g}^{o.c} = Q_{om}^{o.c} + Q_{z.g}^p \cdot \tau_{o.c}, \quad (4)$$

где $Q_{om}^{o.c}$ – количество теплоты, полученное на отопление за отопительный сезон, $Q_{z.g}^p$ – количество теплоты, уходящее на горячее водоснабжение, $\tau_{o.c}$ – продолжительность отопительного сезона.

К отопительной нагрузке добавляется постоянная в течение отопительного сезона нагрузка на ГВС. Получаем график продолжительности тепловых нагрузок за отопительный сезон. Базовую часть графика покрывают паром за счет теплофикационных отборов турбины, а пиковую часть покрывают за счет пиковых источников теплоты.

$$\frac{Q_t^{ном}}{Q_t^{ном} + Q_{п.и.т}} = \alpha_{тэц}, \quad (5)$$

где $\alpha_{тэц}$ – коэффициент теплофикации, показывает долю номинального отопительного отбора от расчетной тепловой нагрузки.

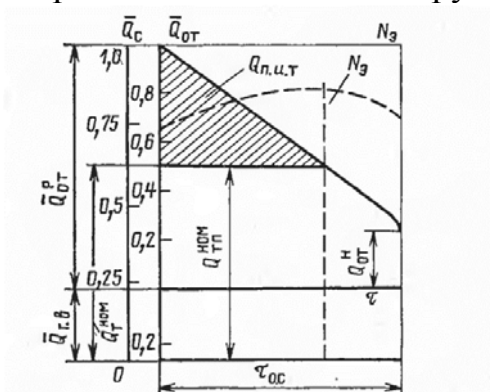


Рис.1. График продолжительности тепловых нагрузок

где, N_a – электрическая мощность, $\tau_{ос}$ – число часов отопительного периода, $Q_{от}$ – удельная отопительная нагрузка от общей нагрузки, $Q_{п.и.т}$ – доля тепла полученная от пикового источника, $Q_{тп}$ – доля тепла от теплофикационной турбины, $Q_{гв}$ – горячее водоснабжение.

Поставлена задача разработки методики определения оптимальных коэффициентов теплофикации газотурбинных ТЭЦ.

Приведем алгоритм расчета:

1) Задаем различные коэффициент теплофикации (отношении тепловой мощности теплофикационных отборов паровых турбин к максимальной тепловой мощности) с шагом 0,1.

2) Выполняем расчет доли пиковых водогрейных котлов в зависимости от принятого коэффициента теплофикации.

3) Рассчитываем показатель эффективности ТЭЦ (выработку электроэнергии на тепловом потреблении)

4) Определяем экономию топлива в результате замены отдельной выработки тепла и электроэнергии на комбинированное производство.

5) Определяем годовой экономический эффект с учетом стоимости 1 т.у.т.

6) Рассчитываем капитал вложения в котельное оборудование с учетом стоимости основных средств и монтажных работ.

7) Построим график зависимости изменения расходов топлива и капиталовложений в котельном оборудовании от коэффициента теплофикации.

8) Рассчитаем чистую приведенную стоимость проекта на основе максимального значения которой выбирается коэффициент теплофикации

Данная методика определения коэффициента теплофикации позволяет связать экономические показатели с тепловой эффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салманов, Ф. К. ТЭК России в период реформ / Ф. К. Салманов // Финансовые известия. - 1996. - № 71. - С. 23-30.

2. Богданович, М. Выбор оптимального коэффициента теплофикации ПГУ-ТЭЦ / М. Богданович // Энергетика и ТЭК. - 2014. - № 5. - С. 7-10.

3. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции : учебник для вузов / В. Я. Рыжкин. – Изд. 3-е. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

4. Дыскин, Л. М. Определение характеристик теплофикационной паровой турбины: учеб. пособие / Л. М. Дыскин, С. С. Козлов. - Н. Новгород : ННГАСУ, 2009. - 39 с.

5. Читашвили, Г. П. Расчет оптимальных коэффициентов теплофикации газотурбинных ТЭЦ / Г. П. Читашвили // Теплоэнергетика. - 2004. - № 11. - С. 40-46.

УДК 536.7

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ ПОРИСТЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВСТАВКАМИ

Федоров В.К., магистрант, dtsk019@gmail.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье произведена оценка интенсификации теплообмена с применением пористых металлов.

Актуальность данной статьи состоит в том, что применение стандартных поверхностей теплообмена, таких как гладкие трубы, и не полное использование достигнутых за последние годы успехов науки в области конвективного теплообмена и технологии машиностроения приводят к значительной металлоемкости подобных аппаратов и, как следствие, дополнительным затратам. Целью исследования являются: оценка эффекта при интенсификации теплообмена с применением пористых металлов в кожухотрубных теплообменных аппаратах. Цель достигается путем сравнения теплообменного аппарата

с пористыми металлическими вставками и без них. В результате получено отношение коэффициентов теплопередачи, требуемой поверхности теплообмена, гидравлических потерь, а также график изменения дисконтированного дохода.

Ключевые слова: теплообмен, кожухотрубные теплообменные аппараты, пористые металлы.

Высокая скорость развития авиационной, ракетной и других областей техники характеризуется непрерывным и значительным увеличением теплового напряжения двигателей, а также прочих энергетических установок и различных конструктивных элементов. Это делает широко используемые в настоящее время и, вместе с тем, хорошо изученные способы увеличения интенсивности теплообменных процессов недостаточно эффективными для применения их в новейшей технике. Данное обстоятельство порождает весьма острую необходимость поиска более эффективных способов увеличения интенсивности процессов теплообмена.

Широкий диапазон теплофизических, структурных, гидравлических, а также других свойств пористых металлов, а также значительный за последнее время прогресс в порошковой металлургии, позволяющий в настоящее время получить образцы из различных металлов и их сплавов с пористостью вплоть до 99% при размерах пор от десятков миллиметров до сотых микрон, делают использование пористых металлических вставок в качестве интенсификаторов теплообменных процессов очень перспективным мероприятием.

Потенциально использование данных металлических вставок в качестве способа увеличения интенсивности теплообмена позволит значительно повысить коэффициент теплопередачи, что в свою очередь приведет к существенному сокращению требуемой поверхности теплообмена. Данное условие способствует значительному увеличению компактности теплообменных аппаратов, а также сокращению их металлоемкости.

Для оценки эффекта при интенсификации теплообмена в кожухотрубных теплообменных аппаратах пористыми металлическими вставками было произведено сравнение теплообменных аппаратов с пористыми металлическими вставками и без них при одинаковой нагрузке.

Расчет коэффициента теплопередачи k , Вт/(м² · К), производился при помощи следующей формулы:

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где α_1 , α_2 – коэффициенты теплопередачи в трубном и межтрубном пространстве, Вт/(м² · К); δ – толщина стенки трубки, м; λ – теплопроводность материала трубки, Вт/(м · К).

Расчет требуемой поверхности теплообмена F , m^2 , производился с помощью следующей формулы:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (2)$$

где Q – тепловая нагрузка, кВт; Δt – среднелогарифмический температурный напор, 0 .

Расчет гидравлических потерь P , Па, производился с помощью следующей формулы:

$$\Delta P = (\Delta P_m + \Delta P_{тр}) \quad (3)$$

где ΔP_m – потери давления на преодоление местных сопротивлений, Па; $\Delta P_{тр}$ – потери давления на трение, Па.

В результате сравнения было установлено, что коэффициент теплопередачи выше 3,62 раза, требуемая площадь поверхности теплообмена меньше в 2,71 раз, потери давления выше в 8,57.

Также в результате исследования был получен график изменения дисконтированного дохода, из которого видно, что срок окупаемости теплообменного аппарата с пористыми металлическими вставками составляет 5 лет.

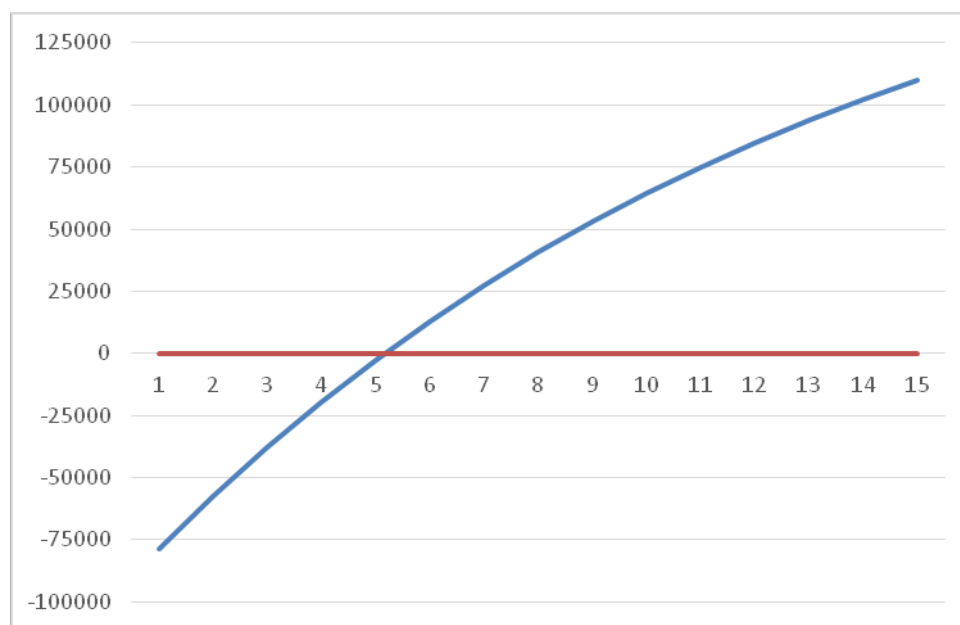


Рис 1. График окупаемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, И. А. Гидродинамика и теплообмен в пористых теплообменных элементах и аппаратах. Интенсификация теплообмена: монография / Попов И. А. – Казань: Центр инновационных технологий, 2007. – 240 с.

2. Лыков, А. В. Тепломассообмен: справочник / Лыков А. В. – Москва: Энергия, 1972. – 479 с.

3. Промышленные тепломассобменные процессы и установки: учебник для вузов / А. М. Бакластов [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.

4. О взаимосвязи гидравлического сопротивления и теплоотдачи в пористых средах / Кокорев Л. С. [и др.] // ТВТ. - 1987. - Т. 25, № 1. – С. 92–97.

УДК 620.9

К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Фирцева С. В., канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры Экономика в строительстве, sfirceva@yandex.ru

Перевозчикова О. Е., магистрант, olesya.ev96@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье дано понятие теплоэнергетики. Определена роль теплоэнергетики в России и для Тюменской области. Обозначены основные проблемы, которые препятствуют развитию анализируемой отрасли. Для обоснования перспектив в развитии теплоэнергетики были рассмотрены альтернативные виды энергии, анализ которых показал, что на данном этапе развития переход к новым способам получения энергии невозможен. Авторы пришли к выводу, что теплоэнергетика будет активно развиваться и дальше, но для этого необходимо совершенствование производств по выработке тепловой энергии.

Ключевые слова: теплоэнергетика, электроэнергетика, развитие ТЭК.

Большинство литературных источников трактуют понятие «теплоэнергетика» как – отрасль энергетики, занимающаяся преобразованием теплоты в другие виды энергии, в основном в механическую и электрическую.

Во многих странах мира развитие теплоэнергетики выполняет основную роль в становлении народного хозяйства и Россия не исключение. Данные статистики говорят о том, что на долю теплоэнергетики приходится примерно 90% от суммарно выработанного объема электростанций мира, что говорит о ее ведущей роли в мировой энергетике [1].

В нашей стране 3/4 мощности тепловых электростанций (ТЭС) приходится на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которые производят

электроэнергию, а также участвуют в системах централизованного теплоснабжения. Но даже, несмотря на то, что сейчас идет активное развитие альтернативных видов энергетики, в России на долю тепловых электростанций приходится до 70% электроэнергии.

Основными источниками в теплоэнергетике выступают теплоэлектростанции, которые функционируют за счет органического топлива: нефть, уголь и другие невозобновляемые источники энергии. Но наряду с ТЭС функционируют и другие установки, в которых электрогенератор заменяют теплоэлектрические, магнитогидродинамические генераторы и другие.

Конечно роль теплоэнергетики в нашей жизни невозможно оценить, но, как и у всего полезного в этом мире есть обратная сторона – это вред, который наносят окружающей среде в процессе своей работы тепловые электростанции. Поэтому наряду с задачами по изучению и усовершенствованию ТЭС современные теплоэнергетики занимаются повышением надёжности ТЭС, экологической безопасности и их эффективности.

Человечество уже обладает знаниями о наиболее безопасных, в экологическом плане, и доступных источниках энергии, поэтому многие развитые страны для решения задач по экологической безопасности и их эффективности стремятся как можно скорее перейти на эти альтернативные источники. Но рассмотрим, возможно, ли это в нашей области [2].

Тюменская область, как и остальные субъекты РФ в развитии теплоэнергетического комплекса руководствуется «Энергетической стратегией России на период до 2030 года», а также «Стратегией социально-экономического развития Тюменской области до 2020 г.». При этом, основными задачами являются: создание энергобезопасных условий для развития экономики области [3].

По данным Правительства Тюменской области показатели по производству и полезному отпуску тепловой энергии за последние пять лет увеличились на 3,4% и 10,9%, соответственно (см. табл.1) [4].

Таблица 1

Показатели производства и полезного отпуска тепловой энергии электростанциями и котельными Тюменской области, тыс.Гкал.

Показатели	Период				
	2013	2014	2015	2016	2017
Выработано тепловой энергии	14111	14394	14452	14493	14590
Отпуск тепловой энергии в сеть	11959	13176	13192	13104	13262

Одной из проблем на пути развития теплоэнергетики в Тюменской области, да и в стране в целом встает вопрос о текущем состоянии тепловых сетей. Основное развитие теплоэнергетики происходило в советское время, поэтому большинству сетей более тридцати лет, в

настоящий момент более 45% тепловых сетей нуждаются в замене и ремонте.

Еще одна проблема, которая мешает повышению эффективности производства тепловой энергии, является наличие 237 котельных, работающих на дорогостоящих видах топлива (нефть – 14 шт., уголь – 130 шт., электроэнергия – 93 шт.) [3]. Наибольшие убытки приносят нефтяные котельные, так как получение тепловой энергии, путем сжигания жидких видов топлива (в т.ч. нефти), является одной из самых затратных из-за большой цены на топливо и затрат, связанных с его транспортировкой до места использования. Помимо этого, существуют еще такие проблемы как: низкий уровень квалифицированного персонала, недостаточное оснащение автоматизированными системами, которые могли бы препятствовать потерям в работе котельных. Здесь хотелось бы отметить Тобольскую ТЭЦ, которая с 2016 года вошла в группу компаний «СИБУР». На сегодняшний момент она является самой передовой на территории Тюменской области. Благодаря новому руководству на предприятии производится автоматизация процессов, внедряются новейшие разработки для минимизации загрязнения окружающей среды, а за счет мотивационных программ привлекаются ценные специалисты в области теплоэнергетики [5].

Программа модернизации электроэнергетики России на период до 2020 года рассматривает использование и внедрение возобновляемых источников энергии и местных видов топлива в теплоэнергетическом комплексе Тюменской области. Рассматриваются такие направления как: ветроэнергетика, гидроэнергетика, солнечная энергетика, биоэнергетика.

Но, если проанализировать каждый вид отдельно, то можно сказать о том, что применение солнечной энергии не целесообразно ввиду малого количества солнечных дней и необходимости подключать резервные источники энергии; на территории Тюменской области не большое количество посевных площадей и фермерских хозяйств, чтобы получать достаточное количество биологических отходов для производства энергии в промышленных масштабах; несмотря на обилие рек лишь небольшое количество может быть использовано для развития сегмента генерации электроэнергии малыми ГЭС; есть перспектива для использования ветрогенерирующих установок, т.к. их использование поможет снизить себестоимость электроэнергии для отдаленных районов.

Приведенные выше аргументы, на примере Тюменской области, доказывают, что быстрый переход к новым способам получения энергии невозможен. Это говорит о том, что теплоэнергетика будет активно развиваться и дальше, но, важно совершенствовать производство и внедрять новейшие разработки не только для получения прибыли или удовлетворения человеческих потребностей, а также для сохранения окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новости энергетики [Электронный ресурс] // Развитие теплоэнергетики в России. – Режим доступа: <https://novostienergetiki.ru/razvitie-teploenergetiki/>.
2. Новости промышленности и новинки энергетических технологий [Электронный ресурс] // Тепловая энергетика. – Режим доступа: <http://promvesti.com/teplovaya-energetika/>.
3. Программа развития электроэнергетики Тюменской области на 2016-2020 годы. Распоряжение Правительства № 903 от 03.06.2015 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Администрации Тюменской области – Режим доступа: https://admtumen.ru/files/upload/OIV/D_gkh/.
4. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>.
5. Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс] // Доклад о состоянии сферы теплоэнергетики и теплоснабжения в Российской Федерации. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/10850>.

УДК 620.92

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВА ЭНЕРГИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Хисматуллина И.З., магистрант, ikhismatullina@yandex.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Поиски инновационных источников энергии заставляют по-новому взглянуть на многие технологические процессы, которым ранее не уделялось должного внимания. Такого внимания заслуживает потенциальная энергия давления природного газа, которая в настоящее время безвозвратно теряется на преодоление гидравлических сопротивлений дросселирующих устройств. В работе был проведен анализ степени развития данного направления в настоящее время, проведена оценка перспективы его развития и массового внедрения.

Ключевые слова: энергия, природный газ, газотурбинная установка, турбина.

Возможность использования энергии без сжигания углеводородного топлива уже довольно продолжительное время общеизвестна, а ее реализация продолжает оставаться одной из наиболее актуальных задач. В процессе добычи и транспорта газа дополнительную энергию можно получить за счет природного газа. Полученная энергия без сжигания газа может быть преобразована в тепловую или в электрическую энергию с

целью ее применения в технологических системах. В настоящее время данная технология имеет на своем счету отдельные примеры успешной реализации на производстве.

Энергию природного газа можно получить после извлечения газа из скважины до поступления его на пункт сбора и на газораспределительных пунктах до подачи газа потребителям. В обоих случаях газ поступает с большими давлениями и требует редуцирования.

Традиционное понижение давления газа осуществляется с помощью дросселирующих устройств различных типов, в которых энергия избыточного давления газа тратится на преодоление гидравлических сопротивлений и таким образом безвозвратно и бесполезно теряется.

Перед поступлением газа потребителям газ по газопроводам направляется к газораспределительным станциям и газораспределительным пунктам, где с помощью редуцирующих клапанов давление газа уменьшается до 1,2 и 0,15 МПа.

Известный на данный момент вариант заключается в подаче транспортируемого газа не к дросселирующим устройства, а в специальное оборудование – детандер, который представляет собой трехступенчатую турбину. По конструкции он почти не отличается от обычных газовых и паровых турбин, а принцип действия его заключается в следующем: газ поступает на входной коллектор с высоким давлением, расширяется в области детандера и покидает оборудование через выходной коллектор с пониженным давлением. При расширении газа его температура уменьшается, при этом он отдает тепловую энергию. Тепловая энергия газа совершает работу: за счет расширения газа сопловые лопатки турбины начинают раскручиваться, в свою очередь, заставляя вращаться вал. Вал турбины связан с валом электрогенератора, что и образует систему «детандер – генераторный агрегат».

В случае применения данного оборудования, энергия природного газа может преобразовываться в электроэнергию, а газ с необходимым пониженным давлением направляется потребителю.

При расширении газа разница начальной и итоговой его температур может достигать 60—70 °С, что, в свою очередь, может сопровождаться обледенением детандера. Снижение рисков возникновения данной проблемы достигается пропуском газа перед турбиной через теплообменник, где он подогревается теплом отработанного теплоносителя.

С другой стороны, авторы [1] считают, что адиабатное расширение газа с существенным снижением его температуры позволяет выработать значительное количество холода.

При снижении температуры газа в среднем на 50–60 °С, что эквивалентно от 60 до 80 кДж/м³ холода. Исходя из приведенных данных, в составе газораспределительных пунктах целесообразным становится

строительство промышленных холодильников. Апробация проекта энерготехнологической детандерной установки на базе газораспределительного пункта, через который каждые сутки перекачивается газ объемом примерно 60 тыс. м³ показала, что ее холодопроизводительности достаточно для строительства типового промышленного холодильника емкостью 270 т.

Однако очевидная целесообразность подобного решения не гарантирует возможность практической реализации идеи на производстве в силу отсутствия расширительных машин, способных работать в указанных пределах давления при относительно небольших расходах газа. Известные расширительные машины турбинного типа предназначены для больших объемных расходов.

Что касается строительства детандеров на больших газораспределительных станциях, то их внедрение вызывает меньше сомнений. Данные генераторные агрегаты хоть и составляют конкуренцию крупным электростанциям, но в пересчете на киловатт мощности им требуется намного меньше капитальных затрат. Экономия позволит устанавливать их достаточно быстро, размещая на территориях уже действующих тепловых станций. Подобные постройки являются экологически чистыми и окупаются за 2,5—3 года.

С учетом существующих и постоянно растущих в мире расходов природного газа, подобный метод энергосбережения позволит сохранить многие десятки миллиардов кВт*ч/год: на каждые 1000 м³ природного газа, при снижении давления от 4,0 до 0,5 МПа можно выработать около 50 кВт*ч электрической энергии.

Для получения киловатта энергии за час от детандер-генератора на подогрев газа потребуется затратить около 80 грамм условного топлива, когда на ТЭЦ потребуется сжечь до 350 гр. В тоже время, теплом, используемым в детандере, снабжает пар, который предварительно уже был использован в паровой турбине. При таком раскладе КПД становится существенно выше: значение КПД тепловых турбинных установок составляет не более 40-50 %, тогда как КПД детандер-генераторного агрегата составит почти 75%, а себестоимость выработанной им электроэнергии при пересчете оказывается несколько ниже, чем на тепловых станциях [2].

На основе данных исследований специалисты НПП «Газэлектроприбор» разработали новый вид газораспределительного пункта на основе турбодетандерной станции, катодной защиты и электропитания с электроприводным регулятором давления, который позволяет вырабатывать электроэнергию для различных нужд и технического учёта газа. Такой газораспределительный пункт может лечь в основу «умных» газовых сетей [3].

Также огромным потенциалом энергии природного газа обладают газовые промыслы: скопление энергии газа происходит благодаря естественным природным условиям.

Попытки сохранения данной электроэнергии специалисты НПП «Газэлектроприбор» тоже сделали с помощью внедрения турбодетандерных установок в систему установок подготовки газа. Такая турбодетандерная станция эксплуатируется на малодебитном месторождении Ракитное.

Однако, по мнению специалистов РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, данные технологии внедряются на месторождениях редко и медленно по причине отсутствия дешевого и надежного турбинного оборудования. Предложение такого оборудования позволит распространить технические предложения по использованию энергии природного газа с большим успехом и улучшить отлаженный механизм.

Авторы [4] рассмотрели разработку экспериментального образца генератора тепловой энергии, одним из главных элементов которого является турбина, преобразующая энергию природного газа в механическую.

Специалисты предлагают использовать турбины, относящиеся к классу активных – без использования статора: ротор лопаточных машин, содержит вал, диск, лопатки, имеющие П-образную форму и включающие две перьевые части, установленные с зазором относительно друг друга и соединенные между собой полкой. При этом в перьевых частях лопаток выполнены отверстия, через которые проходит вал, а лопатки попарно объединены в секции кольцевой формы. В каждой секции лопатки турбины должны быть тонкостенными, но прочными, имеющими форму петли. При создании новой турбины также ставилась задача уменьшения массы ротора до предельно малых значений. Малая масса ротора позволяет ослабить проблемы с его балансировкой, предоставляя возможность для увеличения скорости вращения ротора с расширением области применения такой турбины.

Далее, согласно технологической цепочке, предложенной специалистами, механическая энергия преобразуется в гидравлическую энергию в насосе, перекачивающем теплоноситель. Насос соединен с турбиной через механическую или электромеханическую трансмиссию.

Таким образом, рассмотренные решения обладают целым рядом существенных преимуществ: не требуют сжигания топлива, допускают полную автоматизацию, электроэнергия, тепло и холод вырабатываются экологически чистым путем, рациональное использование потенциальной и кинетической энергии газа и отсутствие необходимости линий электропередач. Данные технологии требуют практических исследований для успешного повсеместного внедрения в газовую систему, потому что подобная деятельность по изобретению и внедрению энергосберегающего

оборудования для безтопливного, экологически чистого получения электроэнергии, тепла и холода позволит сохранить окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Репин А. Л. Возможности использования энергии давления природного газа на малых газораспределительных станциях / А. Л. Репин, Л. А. Репин // Энергосбережение. – 2017. - № 3. – С. 70-73.
2. Мавжудова Ш. С. Использование потенциальной энергии сжатого природного газа для выработки электрической энергии / Ш. С. Мавжудова, Н. О. Усмонов // Наука, техника и образование. – 2016. – № 11. – С. 49-52.
3. Черных А.П. Использование турбинного привода для получения электроэнергии и тепла на объектах газовой промышленности / А. П. Черных // Газовая промышленность. – 2017. – № 2. – С. 82-88.
4. Сазонов Ю.А. Разработка прототипа турбины для использования энергии сжатого газа на нефтяных и газовых месторождениях / Ю. А. Сазонов, М. А. Мохов, В. В. Бондаренко // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 1. – С. 74-77.

УДК 622.279

ГИДРАТООБРАЗОВАНИЕ В АППАРАТАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Хисматуллина И.З., магистрант, ikhismatullina@yandex.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В технологических процессах добычи, подготовки и транспорта газа твердые газовые гидраты вызывают серьезные проблемы, связанные с нарушением указанных технологических процессов. Образование гидратов сырого природного газа при охлаждении в аппаратах воздушного охлаждения (АВО) при низких температурах окружающего воздуха является особенно актуальной проблемой. Для ее решения специалисты нефтегазовой отрасли предлагают много различных методов. В работе проведен анализ эффективности предлагаемых методов решения с точки зрения снижения гидратообразования и энергоемкости.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, гидратообразование.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) предназначены для охлаждения газов и жидкостей и конденсирования паровых и

парожидкостных сред в технологических процессах нефтегазохимической, нефтегазоперерабатывающей и других отраслях промышленности. Охлаждение транспортируемого газа в аппаратах воздушного охлаждения является достаточно энергоемким процессом. Мощность, которая необходима электродвигателям, представляет собой значение в сотни киловатт, что влияет на структуру электропотребления компрессорной станции, особенно при наличии газотурбинного привода для компрессорных нагнетателей. В таком случае АВО классифицируется как самостоятельный технологический объект энергопотребления компрессорной станции.

Нормальная эксплуатация АВО газов возможна при качественной предварительной очистке и осушке транспортируемого продукта на установках комплексной подготовки. Наличие влаги в газе при некачественном ее отделении часто является причиной образования газовых гидратов, отложение которых резко уменьшают пропускную способность АВО, снижает эффективность его работы и повышает уровень энергопотребления.

Гидратообразование в АВО газа происходит при понижении температуры внутренней поверхности труб до и ниже границы фазового равновесия системы «газ – водяной пар». На увеличение температуры гидратообразования оказывает влияние рост давления и рост концентрации тяжелых углеводородных фракций.

При обычной эксплуатации транспортируемый газ не требуется охлаждать до таких низких температур, но понижение температуры, а значит и образование гидратов могут возникнуть по другим причинам.

Разность температур газа и стенки трубы аппарата воздушного охлаждения может быть вызвана следующими факторами:

1) Разные режимы работы аппаратов воздушного охлаждения, входящих в установку охлаждения газа. Регулирование температуры газа на выходе из установки обычно сопровождается отключением части вентиляторов: часть аппаратов воздушного охлаждения работает в номинальном режиме, а другая часть работает с одним включенным вентилятором. Аппараты, эксплуатация которых продолжается в номинальном режиме, имеют на выходе температуру газа ниже, чем температура у аппаратов с одним работающим вентилятором. Аппараты воздушного охлаждения, работающие с двумя вентиляторами, в первую очередь подвержены риску гидратообразования.

Также по причине конструктивных особенностей АВО при работе одного вентилятора, часть нагнетаемого им воздуха возвращается через соседний неработающий вентилятор, а достаточная интенсивность потока может даже обеспечить его вращение в обратную сторону. Подобная рециркуляция воздуха оказывает большое влияние на

энергоэффективность процесса охлаждения газа, снижая КПД установки в целом.

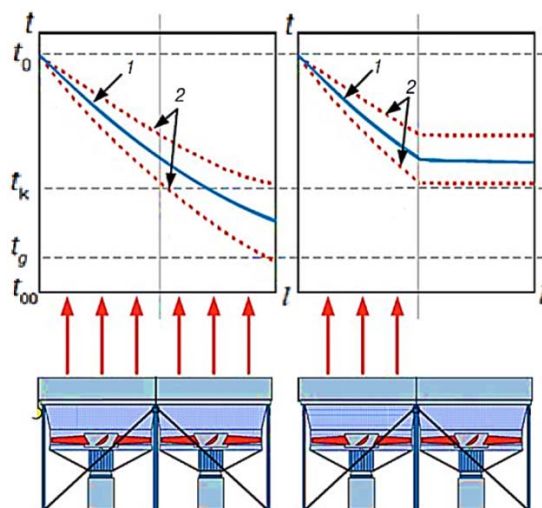


Рис. 1. Распределение температур газа вдоль трубной секции при работе обоих и одного вентиляторов

1 – средняя в трубном пучке; 2 – газа в верхней и нижней трубках; t_0 – температура газа на входе в АВО; t_k – температура в общем выходном коллекторе; t_g – температура гидратообразования

2) Неоднородность температуры газа по трубному пучку: в первом по потоку охлаждающего воздуха ряду труб температура ниже средней в целом по трубному пучку.

3) Температурный скачок – существенная разность температур внутренней поверхности стенки трубы и рабочей среды в сечении данной трубы [1].

Предотвращение образования гидратов включает в себя широкий диапазон методов и средств. В связи с тем, что АВО являются потребителями большого количества электроэнергии, рассматриваемые методы оцениваются не только с точки зрения эффективности предотвращения гидратообразования, но с точки зрения энергоемкости. В настоящее время на газовых объектах реализуются следующие механические методы улучшения охлаждения компримируемого газа:

- изменение углов атаки лопастей вентиляторов;
- изменение угла наклона жалюзи;
- частотное регулирование скорости вращения вентиляторов.

Изменение углов «атаки» лопастей вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения может осуществляться вручную и дистанционно. Ручное регулирование трудоемко и травмоопасно, требует выполнения серьезных организационных и технических мероприятий для обеспечения безопасности работ. При автоматическом управлении основным механизмом поворота лопастей является пневматический привод, который работает по подобию пружины переменной жесткости и приводит к осевому «балансированию» лопастей, что недопустимо для получения газа

с температурой определенного точного значения. Регулирование углов «атаки» лопастей вентиляторов компенсирует дополнительные затраты электроэнергии, но совсем немного [2].

Жалюзийные устройства используются для точного контроля температуры процесса и экономии электроэнергии на АВО. Кроме того, жалюзи сохраняют мощность охлаждения из-за колебаний температуры воздуха. В зимнее время температура воздуха уменьшается, что снижает потребление электроэнергии электродвигателями АВО. С другой стороны, сама конструкция жалюзи потребляет большое количество энергии и считается энергоемким оборудованием.

Охлаждение на базе частотного регулирования скорости вращения вентиляторов применяется с целью более высокой точности поддержания необходимой температуры газа в выходном коллекторе АВО на основе автоматического управления охлаждением по показаниям газового термодатчика, расположенного на выходе АВО. Скорость вращения вентиляторов обеспечивается преобразователями частоты тока и напряжения электродвигателя.

Преимущество данного метода заключается в возможности введения всех аппаратов в рабочий режим, контролируя интенсивность их охлаждения. Устранение различий режимов работы аппаратов и снижение интенсивности увеличивает среднюю температуру газа и увеличивается температурный запас между минимальной температурой стенки труб и температурой образования гидратов.

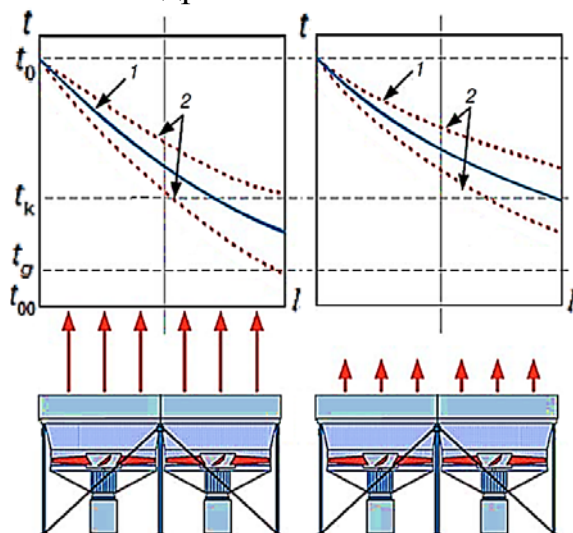


Рис. 2. Распределение температур газа при частотном регулировании
 1 – средняя в трубном пучке; 2 – газа в верхней и нижней трубках; t_0 – температура газа на входе в АВО; t_k – температура в общем выходном коллекторе; t_g – температура гидратообразования

При частотном регулировании работа двигателей вентиляторов происходит в более благоприятных условиях – отсутствуют частые

пуски/остановы двигателей. При запуске вентиляторов в работу разгон происходит плавно, без забросов по току.

Применение частотно-регулируемого привода позволяет добиться значительной экономии электроэнергии (от 21 % до 57 %) [3].

На данный момент не существует универсального метода предотвращения гидратообразования в аппаратах воздушного охлаждения. Самым применяемым является частотное регулирование вентиляторов, как наиболее эффективный и менее энергоемкий способ. Используют его в совокупности с дискретными методами и современными средствами автоматического регулирования, что позволяет с наибольшей долей вероятности предотвратить образование гидратов, значительно улучшить эксплуатационные характеристики системы и уменьшить потребление электрической энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белянкин, Р. В. Частотное регулирование для предотвращения образования гидратов природного газа при его охлаждении / Р. В. Белянкин, Е. В. Устинов, К. С. Хромов // Производство и энергосбережение. – 2011. – № 2. – С. 79-83.

2. Хворов, Г. А. Анализ энергосберегающих технологий охлаждения газа на основе аппаратов воздушного охлаждения в транспорте газа ПАО «Газпром» / Г. А. Хворов, М. В. Юмашев // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2016. – № 9. – С. 127-132.

3. Авраменко, Р. Л. Внедрение частотно-регулируемого привода для вентиляционного и теплообменного оборудования газокompрессорных станций / Р. Л. Авраменко, Р. В. Белянкин, Е. В. Устинов // МегаПаскаль. – 2010. – № 5. – С. 28-33.

УДК 536.7

ОПТИМАЛЬНЫЙ УГОЛ НАКЛОНА СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В УСЛОВИЯХ Г. ТЮМЕНИ

Чистяков Е.В., магистрант, dancer453622@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В связи с прогнозами об окончании запасов топлива, как следствие и конце работы традиционных источников энергии, необходимо изучение альтернативных источников энергии, запасы которых ещё не используются в таких объёмах и масштабах. Целью данной работы является определение оптимального угла наклона площадки, принимающей солнечное излучение, расположенной на территории города Тюмени. В

качестве методов был использованы сравнительный анализ количества солнечного излучения в каждый из выбранных углов наклона воспринимающей поверхности. Результатом расчетов является получение оптимального угла наклона воспринимающей поверхности, равного 57° при мощности потока солнечной радиации на наклонную площадку равной $3336,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{сут}$. Максимальное количество солнечного излучения можно получить при угле наклона 57° . Это солнечное излучение можно полезно использовать для тепло- и электроснабжения здания.

Ключевые слова: солнечный коллектор, энергия солнца, солнечное излучение, угол наклона площадки.

В данной работе был произведен расчет угла склонения солнца, часовой угол и продолжительность солнечного дня для каждого суток. В дальнейшем эти показатели были усреднены для каждого месяца. Следующим этапом работы являлось определение мощности потока солнечной радиации в течение суток в городе Тюмени на горизонтальную площадку - $R_h(t)$, Вт/м².

Изменение мощности потока солнечной радиации за сутки рассчитывается по формуле:

$$R_h = R_h^{\max} \sin\left(\frac{\pi t'}{T_c}\right), \quad (1)$$

где T_c – продолжительность солнечного дня, ч.; t' – время после восхода Солнца, которое изменяется от 0 до T_c , ч.; R_h^{\max} – максимальное значение мощности потока солнечной радиации, которое соответствует наиболее высокой точке нахождения солнца в течение суток, так называемый местный полдень (для г. Тюмени 12:38), Вт/м².

Результаты расчетов сведены в Табл. 1.

Таблица 1

Максимальная мощность потока солнечной радиации в месяц

Месяц	R_h^{\max} , Вт/м ²	ΣR_h , Вт/м ²
Январь	210	925,51
Февраль	370	2110,36
Март	560	3999,29
Апрель	730	6308
Май	830	8511,07
Июнь	850	9380,4
Июль	830	8963,18
Август	750	6958,83
Сентябрь	590	4598,38
Октябрь	400	2436,08
Ноябрь	250	1172,79
Декабрь	160	630,73

Отсюда следует, что мощность потока солнечной радиации изменяется по закону синусоиды, что наглядно показано на Рис. 1:

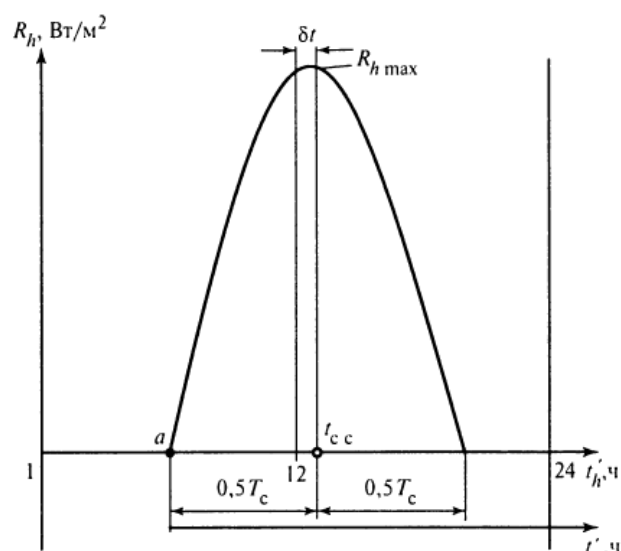


Рис. 1. Синусоидальная зависимость мощности потока солнечной радиации от времени в течение суток

Аналогично прямой, был произведен расчет диффузионной солнечной радиации, поступающей на поверхность горизонтальной площадки, для каждого суток, месяца и в течение года.

Полученные данные показывают, что в г. Тюмени с учетом небольшого количества солнечного сияния, по сравнению с южными городами, в течение года, можно использовать энергию Солнца как альтернативный источник энергии. Так как основная часть излучения – диффузионное, то применение солнечных батарей не целесообразно в данных условиях, напротив применение солнечных коллекторов становится выгодным. Изменение мощности потока солнечной радиации в течение года по её составляющим можно увидеть на Рис. 2.

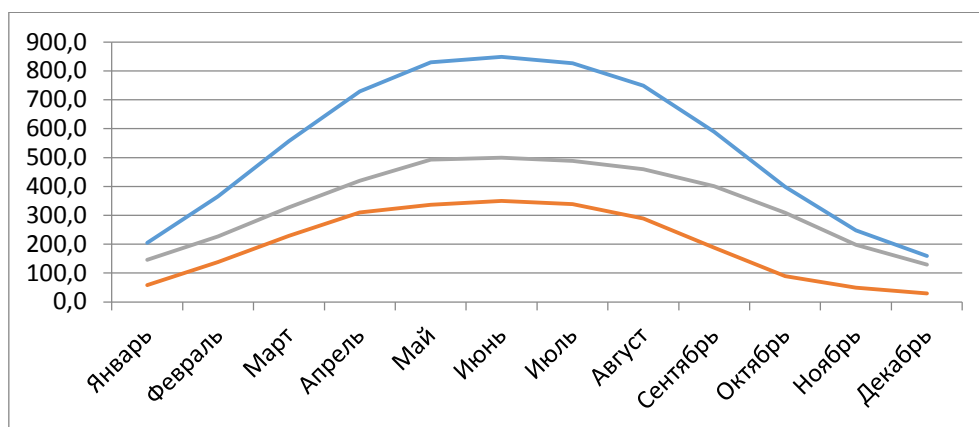


Рис. 2. Мощность потока солнечной радиации в общей, прямой и диффузионной её составляющей – R , Вт/м²

В дальнейшем был произведен расчет коэффициентов диффузии и коэффициента облачности для каждого месяца. На основании полученных данных и с учетом числа альbedo – отражательной способности Земли, рассчитано количество солнечной радиации, поступающей на площадку по методу Лю и Джордана.

Воспользуемся формулой Лю и Джордана для расчета среднемесячного потока солнечной радиации на наклонную площадку \mathcal{E}_β :

$$\mathcal{E}_\beta = K_\Sigma \mathcal{E}_\alpha, \quad (2)$$

где K_Σ – отношение среднемесячных дневных приходов суммарной солнечной радиации на горизонтальную и наклонную поверхности, которое можно посчитать по формуле:

$$K_\Sigma = ((1 - \mathcal{E}_0^c / \mathcal{E}_\alpha) K_{np} + (\mathcal{E}_0^c / \mathcal{E}_\alpha)(1 + \cos \beta) / 2) + (\rho(1 - \cos \beta) / 2), \quad (3)$$

где ρ – число альbedo, так называемая отражательная способность Земли, которая изменяется в зависимости от снежного покрова в пределах от 0,2 до 0,7; β – угол наклона площадки, град.; $\mathcal{E}_d^r / \mathcal{E}_r$ – есть коэффициент диффузии; K_{np} – отношение среднемесячных приходов солнечной радиации на горизонтальную и наклонную площадки.

По формуле Клейна определяем K_{np} :

$$K_{np} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s' + (\pi / 180) \omega_s' \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s' + (\pi / 180) \omega_s' \sin \varphi \sin \delta}, \quad (4)$$

где ω_s' – часовой угол восхода солнца на наклонной площадке, град.:

$$\omega_s' = \min(\omega_s; \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \operatorname{tg} \delta)). \quad (5)$$

Таблица 2

Определение оптимального угла наклона воспринимающей поверхности

β	\mathcal{E}_β , кВт*ч/м ² *сут					$\beta_{\text{опт}}$	$\mathcal{E}_{\text{опт}}$
	0	42	57	72	90		
Январь	1,39	5,30	6,10	6,52	6,51	72	6,52
Февраль	2,854	7,64	8,46	8,77	8,45	72	8,77
Март	5,13	9,30	9,65	9,46	8,57	57	9,65
Апрель	7,938	10,87	10,56	9,73	8,12	42	10,87
Май	10,282	12,10	11,31	10,02	7,93	42	12,10
Июнь	11,378	12,50	11,46	9,93	7,58	42	12,50
Июль	10,836	12,22	11,25	9,79	7,52	42	12,22
Август	8,85	11,23	10,67	9,61	7,79	42	11,23
Сентябрь	6,128	9,69	9,73	9,24	8,03	57	9,73
Октябрь	3,514	7,68	8,24	8,33	7,83	72	8,33
Ноябрь	1,9	6,20	7,02	7,42	7,32	72	7,42
Декабрь	1,06	4,53	5,26	5,68	5,71	90	5,71
Сумма	2173,15	3324,90	3336,51	3177,09	2776,04		3499,9
Отклонение	61,05	5,26	4,90	10,16	26,08		

Из Табл. 2 можно увидеть, что минимальное отклонение от оптимального значения потока солнечной радиации на наклонную площадку будет при угле наклона площадки 57о.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов [и др.] – Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
2. Беркутов, Р. А. Отопление промышленного здания: методические указания по выполнению курсового проекта для студентов направления 140100.62 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения / Р. А. Беркутов, А. А. Валиюллина. – Тюмень: РИО ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ», 2014. – 89 с.
3. Андреев, В. М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В. М. Андреев, В. А. Грилихес, В. А. Румянцев. - Ленинград: Наука, 1989. – 224 с.
4. Бекман, У. А. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. А. Бекман, С. А. Клейн, Д. А. Даффи. - Москва: Энергоиздат, 1982. – 322 с.

УДК 338.45

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Щербакова Е.Н., канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры экономики в строительстве, elena_sherbakova@list.ru

Невзорова Е.С., магистрант, newzorokate@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Одной из наиболее значимых отраслей, определяющих устойчивое развитие экономики, является топливно-энергетический комплекс. Статья посвящена вопросам оценки развития топливно-энергетического комплекса Тюменской области в настоящее время. В статье нашли отражение показатели эффективности функционирования данного комплекса и анализ причин, негативно сказывающихся на его развитии, таких как оценка степени изношенности основных фондов и значительное падение объема инвестиций в отрасль.

Ключевые слова: Топливо-энергетический комплекс, энергетические ресурсы, производство электроэнергии, износ основных фондов, инвестиции.

Топливо-энергетический комплекс (далее ТЭК) является одной из важнейших отраслей промышленности России, обеспечивая различные

отрасли народного хозяйства топливом и другими энергетическими ресурсами. Степень влияния развития ТЭК на увеличение темпов прироста показателей эффективности отраслей народного хозяйства и экономики страны в целом очень высока. Учитывая зависимость экономики Тюменской области от уровня темпов развития ТЭК, наибольший интерес представляет проведение анализа состояния ТЭК в современных условиях.

Динамика добычи энергетических ресурсов по Уральскому федеральному округу (далее УФО) в целом [1] свидетельствует о незначительном снижении объёмов, что представлено в Табл. 1.

Таблица 1

Добыча полезных ископаемых по видам по УФО

Показатели	2012г.	2013г.	2014г.	2015г.	2016г.
Добыча угля, тыс.тн.	2328	2050	1854	1375	1307
Добыча нефти, включая газовый конденсат, тыс.тн.	304468	301728	300619	299370	303529
Добыча природного и попутного газа, млн.м ³	569472	579360	546542	534514	540477

Так, за анализируемый период добыча угля упала на 43,86%, добыча нефти – на 0,31%, а добыча природного и попутного газа - на 5,09%.

При анализе объёмов производства электроэнергии наблюдается, наоборот, незначительное увеличение как по УФО, так и по Тюменской области в целом, что видно на Рис. 1.

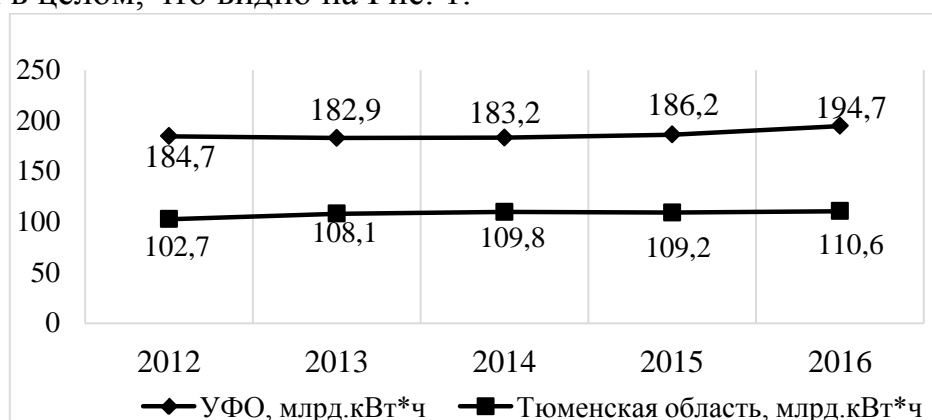


Рис.1. Анализ динамики производства электроэнергии

Прирост производства электроэнергии в натуральных измерителях по УФО за 2012-2016гг. составил 5,41%, а по Тюменской области – 7,69%.

Отрицательная динамика натуральных показателей объёма добычи энергетических ресурсов негативно влияет на темпы развития экономики, но в то же время не оказывает значительного воздействия на темпы устойчивого прироста показателей ТЭК.

По данным Росстата [1], объём продукции, работ, услуг по производству и перераспределению электроэнергии, газа и воды по Тюменской области стабильно растёт, что видно из Табл. 2.

Таблица 2

Производство и распределение электроэнергии, газа и воды

Показатели	2012г.		2013г.		2014г.		2015г.		2016г.	
	млн. руб.	%	млн. руб.	%	млн. руб.	%	млн. руб.	%	млн. руб.	%
Тюм. обл., всего, в т.ч.:	261046	100	293842	100	300151	100	301417	100	323718	100
ХМАО	175103	67	195094	66	206904	69	206989	69	219992	68
ЯНАО	41034	16	48683	17	49734	17	49234	16	55464	17
юг Тюм. обл.	44910	17	50065	17	43512	14	45194	15	48262	15

За анализируемый период 2012-2016гг. объем производства вырос на 24,01% или на 62672 млн.руб. Наибольший прирост объема производства и распределения электроэнергии, газа и воды по Тюменской области обеспечен ХМАО: на 44889 млн.руб. (или на 25,64%), удельный вес которого в общем объеме увеличивается с 67% в 2012 г. до 68% в 2016 г. При анализе структуры объема отгруженной продукции, работ, услуг наибольшая доля приходится на производство, передачу и распределение электроэнергии, газа, пара и горячей воды, что в 2016 г. составляет 96,5% по Тюменской области включая автономные округа (далее АО).

Характеризуя состояние энергетического комплекса, стоит отметить, что существует ряд проблем его развития, которые необходимо выявить и проанализировать с целью поиска решений для повышения эффективности функционирования комплекса [2]. Среди основных проблем можно выделить проблемы обновления основных фондов (далее ОФ).

Существуют общие технико-технологические проблемы, к которым относятся износ основных производственных фондов, отставание в создании и освоении современных энергетических технологий, разработка новых месторождений полезных ископаемых и т.д.

Эффективность результатов функционирования ТЭК обусловлена, прежде всего, техническим уровнем и качественным составом действующих мощностей предприятий, которые в настоящее время не соответствуют предъявляемым требованиям. Так, по данным Росстата [1], анализ изношенности основных фондов (Рис. 2) показал, что наибольшая степень износа основных средств наблюдается в Тюменской области без автономных округов (далее АО), причем данный показатель увеличился с 46,8% в 2013 г. до уровня 54,9% в 2016 г., что выше уровня 2015 г. на 17,31%. Достаточно небольшой степенью износа обладают ОФ в ЯНАО (по состоянию на конец 2016 г. уровень износа составил 32,4%).

Высокий износ ОФ снижает не только эффективность работы данного комплекса, но и надежность энергоснабжения. Несвоевременное обновление ОФ энергосистемы может привести к периодическим сбоям в

подаче электро- и теплоэнергии, особенно в период сильных дождей и снегопада.

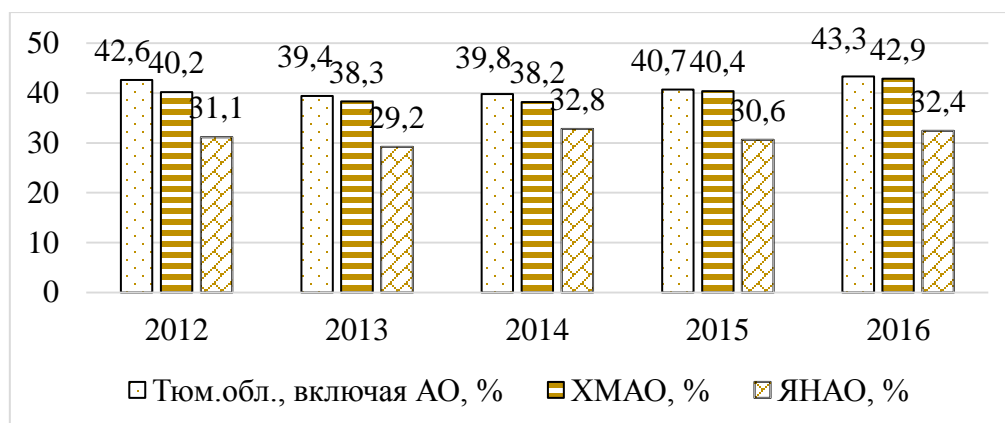


Рис. 2. Степень износа ОФ в организациях производства и распределения электроэнергии, газа и воды (по состоянию на конец года)

В Тюменской области удельный вес полностью изношенных ОФ достаточно высок [1], что наблюдается на протяжении всего анализируемого периода (Рис. 3).

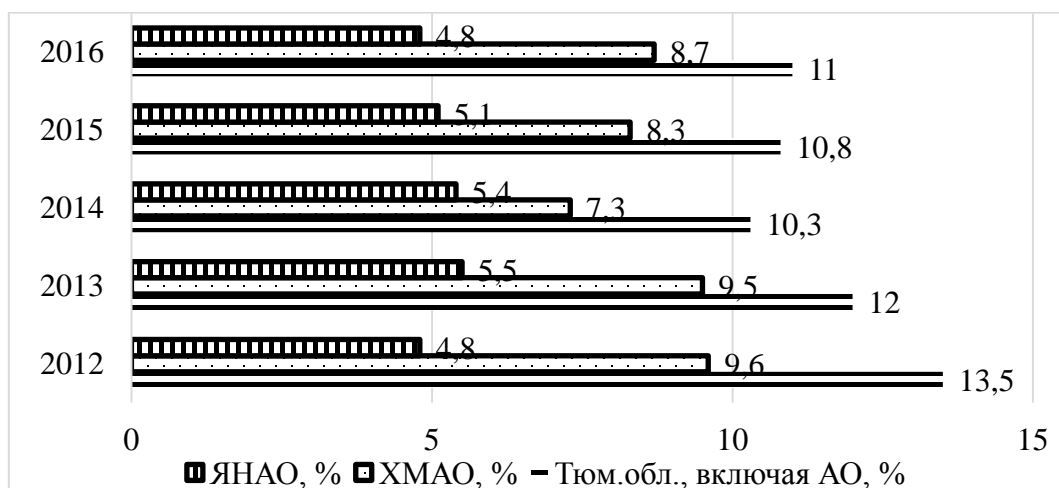


Рис. 3. Доля полностью изношенных ОФ в производстве и распределении электроэнергии (по состоянию на конец года)

Наибольший удельный вес полностью изношенных ОФ в Тюменской области без АО достигается в 2016 г. и составляет почти 22,8%, что выше уровня 2015 г. на 5,07%. В ЯНАО на протяжении анализируемого периода данный показатель находится около 5%, в ХМАО не достигает 10%.

В качестве важной проблемы функционирования ТЭК можно выделить недостаточность инвестиций для развития сетевой инфраструктуры. Ниже в Табл. 3 приведена динамика инвестиций в основной капитал Тюменской области, в т.ч. капвложений, направляемых в ТЭК.

Таблица 3

Инвестиции в основной капитал Тюменской области

Показатели	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Инвестиции в основной капитал в Тюменской области, млн. рублей	418058	444021	487186	489902	594534	712846
в т.ч. в производство и распределение электроэнергии, млн. рублей	89379	62773,3	50089,2	40609,9	32896,6	50837,7
Доля инвестиций в ТЭК в общем объеме инвестиций, %	21,4	14,1	10,3	8,3	5,5	7,1

Объём инвестиций в основной капитал организаций Тюменской области возрос в 2017 г. по сравнению с 2012 г. в 1,71 раза, а инвестиции в ТЭК при этом сократились в 1,76 раза. Обращает на себя внимание довольно низкий удельный вес инвестиций в энергетическую отрасль, который снизился с 21,4% до 7,1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регионы России. Социально-экономические показатели [Электронный ресурс] // Каталог публикаций: Федеральная служба государственной статистики. - Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156.

2. Проблемы обновления основных фондов компаний топливно-энергетического комплекса [Электронный ресурс] // Каталог публикаций: Управление экономическими системами: электронный журнал. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/problemy-obnovleniya-osnovnyh-fondov-kompaniy-toplivno-energeticheskogo-kompleksa-rossii>.

УДК 620.1.08

КАЛОРИЯ И ДЖОУЛЬ В ТЕХНИЧЕСКОЙ, ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И БЫТОВОЙ СФЕРАХ

Юдина П.С., бакалавр, polinayudina98@gmail.com
 Пахомова А.А., бакалавр, nastya.pakhomova.98@inbox.ru
 Германова Т.В., канд. техн. наук, доцент, ecogtv@mail.ru
 г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье рассмотрена актуальность использования калорий и Джоулей в технической, теплоэнергетической и бытовой сферах. Целью статьи является

изучение истории и применения в нашей жизни калории и Джоуля, как единиц измерения метрологических величин, а также поднята проблема удобства применения данных единиц измерения.

Ключевые слова: калория, джоуль.

Что мы знаем о калориях? До 20-го века с помощью этой единицы осуществляли измерение тепловой энергии. Этот термин подразумевает определенное количество тепла, с помощью которого температура 1-го г воды возрастает на 1 г по Цельсию. В традиционной физике принято измерять тепловую энергию в джоулях, а вот в быту эти измерения происходят посредством калорий. К слову, 1 калория, как известно, будет равняться 4,1868 джоулям. Разберемся более подробно что же все-таки собой представляет калория [1, 2]. Калория (от лат. calor, означающего «тепло») — внесистемная единица количества теплоты; энергия, необходимая для нагревания 1 грамма воды на 1 градус Цельсия при стандартном атмосферном давлении 101 325 Па. На данный момент определены и используются три разновидности калории, немного различающиеся своей величиной:

- калория (калория международная) (русское обозначение: кал; международное: cal), $1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж}$;
- калория термохимическая (русское обозначение: кал_{ТХ}; международное: cal_{th}), $1 \text{ кал}_{\text{ТХ}} \approx 4,1840 \text{ Дж}$;
- калория 15-градусная (русское обозначение: кал₁₅; международное: cal₁₅), $1 \text{ кал}_{15} \approx 4,1855 \text{ Дж}$.

В РФ все три вида калории допущены к использованию в качестве внесистемных единиц с областью применения «промышленность».

Чтобы максимально получить представление о калориях рассмотрим приборы измерения выделяющегося тепла [3]. Одним из таких устройств является калориметр (Рис.1) (от латинского calor - тепло и ...метр) – приспособление для измерения количества теплоты, выделяющейся или поглощающейся при различных физических, химических, биологических или промышленных процессах. Используется, например, для определения теплоты сгорания топлива. Количество теплоты чаще всего определяется по изменению температуры какой-либо жидкости известной массы, в которую опускают образец.



Рис. 1. Калориметр

В бытовой жизни, чаще всего, для учета количества потребляемой воды мы используем всем известный тахометрический счетчик (Рис. 2), применяемый также для измерения тепловой энергии и содержащий в своей конструкции ряд элементов, помогающих фиксировать не только объем потраченной жидкости [4, 5]. Счетчик может содержать чувствительный элемент в виде турбинки. Этот метод называется тахометрическим.

Теплосчетчиками в России принято измерять [6] не только тепловую энергию, потребленную на отопление, как это принято во всем мире, но также и тепловую энергию, потребленную на подогрев горячей воды в централизованных циркуляционных системах ГВС, разобранную горячую воду из системы ГВС, а также разобранную холодную воду из системы ХВС. Таким образом, в состав теплосчетчика может входить до пяти преобразователей расхода, то есть теплосчетчик состоит больше чем из десятка СИ.



Рис.2. Тахометрический счетчик

Итак, копнем глубже и рассмотрим калорию в теплотехнической и теплоэнергетической области [4]. Калория, килокалория и гигакалория, приведённые к единице времени, используются в теплотехнике для оценки тепловой мощности отопительного оборудования, для расчётов потребляемой тепловой мощности зданий и сооружений, а также – для учёта теплопотерь.

В связи с масштабностью теплотехнических расчётов, для этих целей наибольшее распространение получила килокалория в час (ккал·ч) и гигакалория в час (Гкал·ч). Калория, килокалория и гигакалория, отнесённые к единице объёма, используются в теплотехнике для оценки удельной объёмной теплоты сгорания топлива. Наиболее часто встречаются килокалория на дециметр кубический (ккал/дм³) и гигакалория на метр кубический (Гкал/м³). Как исключение, объёмная теплотворность природного газа измеряется ккал/м³ (по ГОСТ Р 8.577-2000).

Кроме теплотехники, калория и килокалория, отнесённые к единице массы или объёма часто используются и в диетологии для оценки

калорийности. Под калорийностью подразумевается количество энергии, которое получает организм при полном её усвоении. Чтобы определить полную энергетическую ценность пищи, её сжигают в калориметре (Рис. 1) и измеряют тепло, выделяющееся в окружающую его водяную баню.

Ознакомившись с калорией, и разобравшись с ее назначением, перейдем к не менее важной по значимости единице измерения – Джоулю. Джоуль (англ. Joule; русское обозначение: Дж; международное: J) — единица измерения работы, энергии и количества теплоты в системе единиц (СИ). Джоуль равен работе, совершаемой при перемещении точки приложения силы, равной одному ньютону, на расстояние одного метра в направлении действия силы [2]. Таким образом, $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$.

Джоуль (Дж) широко применяется в теоретической и практической теплотехнике для измерения количества произведенной или использованной теплоты.

Но несмотря на всю свою популярность, джоуль не нашел широкого применения при взаиморасчетах в коммунальном хозяйстве. Здесь, как и прежде, ведется учет выработанного и потребленного тепла в калориях (кал) и кратных к ней единицах гигакалориях (Гкал). Один Гкал это 4,187 ГДж или 1,163 МВт.

Проведем перерасчет количества произведенной или использованной теплоты, и определим погрешность в перерасчетах к международной калории. Так как наибольшее распространение в использовании имеет величина ккал*час, будем использовать ее для расчетов. Переведем в джоули (Дж), чтобы определить показания счетчика:

$3600 \text{ ккал} \cdot \text{с} * 4,1868 = 15072,48 \text{ Дж} \cdot \text{с} = 15072,48$ (для международной калории);

$3600 \text{ ккал} \cdot \text{с} * 4,1840 = 15062,4 \text{ Дж} \cdot \text{с}$ (для термохимической калории);

$3600 \text{ ккал} \cdot \text{с} * 4,1855 = 15067,8 \text{ Дж} \cdot \text{с} = 15067,8 \text{ Вт}$ (для 15-градусной калории).

Определим погрешность: при замене значения международной калории на термохимическую калорию:

$$\frac{|15062,4 - 15072,48|}{15072,8} * 100\% = 0,0668\%$$

и при замене значения международной калории на 15-градусную калорию:

$$\frac{|15067,8 - 15072,48|}{15072,48} * 100\% = 0,031\%$$

В статье рассмотрены косвенные признаки, по которым можно судить о возможности занижения показателей потребляемой теплоты при перерасчетах величин.

Таким образом, Джоуль является очень удобной единицей измерения теплоты. До введения системы СИ было принято пользоваться в качестве единицы измерения теплоты – калорией и в настоящее время

отечественные теплоснабжающие предприятия предпочитают принимать показания именно в этих единицах. В статье рассмотрены косвенные признаки, по которым можно судить о том, что показания теплосчетчика не соответствуют ожидаемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химическая Энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F>

2. Прохоров А. М. Физическая энциклопедия / А. М. Прохоров. — Москва : Советская энциклопедия, 1988. — 704 с.

3. Справочник химика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chem21.info/info/16389/>

4. Уваров, Н. Справочник инженера по КИПиА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://books.google.ru/books?id=9K-UBgAAQBAJ&pg=PA17&lpg=PA17&dq=%D0%B8%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BD+%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D0%B5&source=bl&ots=j0GT8vLlRY&sig=G7D01pxAqoNAGMQOPvnEjk6GW8s&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwi5o_iciNbeAhWkCsAKHawCABEQ6AEwDXoECAkQAQ#v=onepage&q=%D0%B8%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%BD%20%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D0%B5&f=false

5. Кузник, И. В. Показания теплосчетчиков: добротные, ожидаемые, разные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2442

УДК 661.965

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ВОДОРОДА

Бочина А.А., бакалавр, bochina97@list.ru

Савченков А.Л., канд. техн. наук, доцент, savchenkoval@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье рассматриваются способы очистки водорода от углеродсодержащих компонентов. Проанализированы методы водорода палладиевыми мембранами и короткоциклового адсорбцией. По итогам работы было определено, что метод короткоциклового адсорбции наиболее оптимальный, чем метод очистки палладиевыми мембранами, при котором необходима повышенная температура и использование дорогостоящих сплавов палладия.

Ключевые слова: водород, палладиевые мембраны, короткоциклового адсорбция.

Гидроочистка в нефтепереработке необходима для удаления из нефтепродуктов соединений серы, азота, кислорода. При этом также происходит гидрирование олефинов. Необходимым компонентом для процесса гидроочистки является водород.

Расход водорода на реакцию гидроочистки зависит от содержания примесей в сырье, углеводородов с кратной связью и ароматических соединений. Кроме этого, на расход водорода влияет его парциальное давление, температура и время контакта сырья с катализатором, степень превращения нефтепродукта.

Низкая чистота водорода негативно влияет на работу установки, так как для достижения требуемого качества продукта потребуется повышение температуры. Поэтому необходимо провести анализ существующих способов очистки водорода от таких примесей как СО, СО₂, СН₄.

Эффективная очистка водорода от многих примесей может быть проведена диффузией через палладиево-серебряные мембраны, которые представляют собой тонкостенные трубы из фольги. Фольгой из палладиевого сплава покрывают пористую трубку из мелкопористой металлокерамики. Процесс осуществляется при температурах 470...670 К и давлении 0,7...1,4 МПа. Очистка таким методом дает возможность получить водород чистотой 99,999 % мольн.

Водород отличается способностью проникать через мембрану из палладия и его сплавов с серебром, никелем, но примеси остаются по другую сторону перегородки.

Установка состоит из блока очистки с палладиевой мембраной, системы контроля и регулирования потоков исходного и очищенного водорода, вакуумного коллектора.

При использовании электрохимического и диффузионного методов очистки необходима предварительная очистка газов от каталитических ядов - соединений серы, мышьяка, фосфора и др.

В промышленности мембранный метод не получил широкого распространения так как стоимость мембран достаточно высока. Так же причиной служит необратимое отравление палладия и необходимость проводить процесс при высоких температурах.

Установка короткоциклового адсорбции (КЦА) используется для разделения газовых смесей с получением различных компонентов, в том числе водорода с высокой концентрацией.

Данный процесс состоит в адсорбции примесей из потока водорода при высоком давлении и беспрепятственном его прохождении через адсорбент, затем в десорбции примесей при низком давлении для регенерации адсорбента.

Полный цикл работы КЦА состоит из нескольких отдельных этапов, а именно: адсорбции, сброса давления, продувки и повышения давления. Вначале сырьевой газ проходит через слой адсорбента. При этом легко адсорбируемые компоненты смеси поглощаются адсорбентом, в то время как слабо адсорбируемые или не адсорбируемые проходят через аппарат, благодаря чему происходит разделение газовой смеси.

Как только происходит достаточное насыщение слоя адсорбента, начинается десорбция при прямоточном сбросе давления.

Свое широкое применение получил именно этот метод из-за ряда преимуществ:

- 1) высокая селективность по адсорбируемым компонентам в зависимости от выбора адсорбента;
- 2) очищение практически всех газов
- 3) низкие энергетические затраты;
- 4) простота оборудования;
- 5) незначительные эксплуатационные затраты;
- 6) низкая стоимость установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие / С. А. Ахметов. - Уфа : Гилем, 2002. - 671 с.
2. Ritter, J. A. State-of-the-Art Adsorption and Membrane Separation Processes for Hydrogen Production in the Chemical and Petrochemical Industries / J. A. Ritter, A. D. Ebner // Separation Science and Technology. - 2007. - №42. – P. 123-131.

3. Ишин, А. А. Математическое моделирование и управление процессом получения водорода методом адсорбционного разделения газовой смеси [Рукопись]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / А. А. Ишин. - Тамбов, 2017. - 152 с.

УДК 676.2.7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА

Глазкова А.А., бакалавр, glazkovaanfisa@yandex.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Проблема энергосбережения на предприятиях химической промышленности стоит очень остро, нахождение оптимальных методов энергосбережения является главной целью проведенного исследования. В данной статье даны характеристики систем энергосбережения предприятий пиролиза, выявлены основные направления развития сбережения энергетических ресурсов и использования вторичных энергетических ресурсов. Выделены перспективные возможности для дальнейшего развития энергосбережения на предприятиях пиролиза.

Ключевые слова: теплоэнергетические системы, энергосбережение

На сегодняшний день проблема энергосбережения на предприятиях стоит достаточно остро. Политика России предполагает повышенное внимание к вопросам энергоэффективности и энергосбережения. Одним из самых энергозатратных производств является химическая промышленность, особенно производство олефинов путем пиролиза углеводородного сырья.

Пиролизом называется высокотемпературный процесс, энергию на который получают главным образом путем сжигания различных видов топлив, таких как: уголь, жидкое топливо, природный газ. Ведущим направлением для энергосбережения в процессе пиролиза, является совершенствование технологии использования первичных и вторичных энергетических ресурсов [1].

Использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) – одно из главных направлений мероприятий по эффективному энергосбережению [2]. Качественная утилизация вторичных энергоресурсов на основе внутренней регенерации позволит резко повысить энергосбережение всего предприятия. Для этого существуют следующие методы:

1) Предварительный нагрев сырья, поступающий в пиролизную печь, осуществляется с помощью тепла отходящих газов. Для этого используется рекуператор или регенератор.

2) Проведение осушки, дистилляции и других последующих процессов, также возможно с помощью тепла отходящих продуктов. Для этих целей применяют различные котлы-утилизаторы.

3) Для нагрева воды для нужд предприятия могут применяться контактные экономайзеры. Они бывают двухконтурные и одноконтурные. Благодаря им, охлаждение дымовых газов возможно до 40°C с конденсацией водяных паров в 70-80%.

Большие возможности энергосбережения также в использовании более совершенного технологического химического процесса, применении наиболее активных катализаторов, обеспечивающих более полное и быстрое превращение исходного сырья в необходимый продукт, применение катализаторов позволит снизить требования к «жесткости» процесса, т.е. позволить уменьшить температуру и давление, что приведет к уменьшению энергозатрат производства. Еще одним путем политики энергосбережения является организация энерготехнологических установок и применение энергосберегающего оборудования.

Важнейшим направлением для энергосбережения в химической промышленности является организация энерготехнологических систем, в которых полностью используется теплота физико-химических процессов.

Основной тенденцией в осуществлении процесса пиролиза является более полное использование теплоты химической реакции и продуктовых потоков. Продукты пиролиза можно направлять в котельные для выработки пара [3]. Тепловая энергия процесса может осуществлять теплоснабжение сторонних потребителей, что сделает процесс более экономически и энергетически эффективным.

Для экономии энергии должны быть использованы все возможные направления энергосбережения. Особое внимание должно быть уделено совершенствованию самих энергосберегающих устройств и технологических схем их использования в сочетании с развитием преобразования одних видов энергии в другие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голомшток, Л. И. Снижение энергопотребления в процессах переработки нефти / Л. И. Голомшток, К. З. Халдей. – Москва: Химия, 1990. – 142 с.

2. Долинская, Р. М. Энергосбережение в химической промышленности / Р. М. Долинская, – Минск : БГТУ, 2013. — 26 с.

3. Хараз, Д. И. Пути использования вторичных энергоресурсов в химических производствах / Д. И. Хараз, Б. И. Псахис. – Москва : Химия, 1984. – 224 с.

Научный руководитель: Дерюгина О.П., канд. техн. наук.

УДК 66.665

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПЛАСТОВОЙ СМЕСИ БЕРЕГОВОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Глазунов А.М.¹, канд. техн. наук, доцент, glazunovam@tyuiu.ru.

Дмитриева Т.Б.², магистрант, tbdmitra@mail.ru.

¹г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

²г. Тюмень, ООО «Геохим».

Аннотация. На основании данных, полученных при исследовании физико-химических свойств и углеводородного состава пластовой смеси, можно сделать расчёт основных технологических параметров процессов переработки, определить рациональный способ её переработки, а также получить товарные характеристики извлекаемых дистиллятов, тем самым, оптимизировать энергетические и финансовые затраты на получение целевых продуктов. Цель работы - изучение состава и свойств пластовой смеси Берегового газоконденсатного месторождения пласт БТ₁₀₋₁₁ в интервалах перфорации 3066-3072 м для определения оптимального направления её переработки. В работе рассмотрены и описаны методы промысловых, термодинамических, хроматографических и физико-химических исследований. Расчёты и исследования проводились по методикам, определённым отраслевыми стандартами. Исследованный газовый конденсат имеет легкий фракционный состав, высокое содержание бензиновых фракций, очень низкое содержание серы, не содержит смолисто-асфальтовых соединений. В связи с высоким содержанием нафтеновых углеводородов, имеет низкую температуру застывания, поэтому является прекрасным нефтехимическим сырьем и сырьем для производства моторных топлив.

Ключевые слова: пластовая смесь, газоконденсат, исследование, состав, свойства.

Большой практический интерес имеет исследование физико-химических свойств и углеводородного состава газоконденсатов, так как на основании данных исследований можно сделать расчёт основных технологических параметров процессов переработки, получить товарные характеристики извлекаемых дистиллятов, определить рациональные

направления их переработки, тем самым оптимизировать энергетические и финансовые затраты на получение целевых продуктов.

Цель работы - изучение состава и свойств пластовой смеси Берегового газоконденсатного месторождения для определения оптимального направления её переработки.

Объектом исследования стала пластовая смесь Берегового газоконденсатного месторождения пласт БТ₁₀₋₁₁ в интервалах перфорации 3066-3072 м. Данное месторождение находится на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа. Ежегодно в газотранспортную систему страны с него поставляется до 9,5 млрд.м³ природного газа и 116 т конденсата.

В работе рассмотрены и описаны методы промысловых, термодинамических, хроматографических и физико-химических исследований. Расчёты и исследования проводились по методикам, определённым отраслевыми стандартами, которые устанавливают общие требования к исследованию пластовых флюидов в нефтедобывающей отрасли. Результаты данных исследований дают важную информацию, необходимую для подсчета запасов нефти и газа, проектирования разработки месторождения, контроля за разработкой месторождений, разработки технологий интенсификации добычи углеводородного сырья, выбора оптимального направления переработки извлекаемого флюида.

По результатам всех расчётов и исследований, было установлено содержание метана в пластовом газе составляет 81,191% мольн., содержание C₅₊ - 4,162 % мольн.. [1]

Текущее потенциальное содержание углеводородов C₅₊ составило 199,83 г/м³ - на газ сепарации, 187,75 г/м³ - на пластовый газ или 195,90 г/м³ - на «сухой» газ. Псевдокритические параметры газа сепарации температура и давление равны соответственно 210,84 К и 46,95 ата. [2]

Коэффициент конденсатоотдачи (КИК) на пластовый газ равен 0,633.

Плотность по данным физико-химических исследований стабильного конденсата, отобранного при проведении газоконденсатных исследований, составляет 734,6 кг/м³, молекулярная масса конденсата равна 103, вязкость кинематическая при температуре 20°C – 0,809 мм²/с, показатель преломления - 1,4138, содержание общей серы – 0,016 % масс., содержание парафинов – 0,21 % масс. При атмосферной разгонке по Энглеру температура начала кипения ГК - 31°C, температура конца кипения – 316°C. [3]

На основании приведенных исследовательских данных согласно действующей общепринятой классификации Старобинца газоконденсат Берегового месторождения пласт БТ₁₀₋₁₁ в интервалах перфорации 3066-3072 м имеет шифр Д₂ М (КГ)₂(S₁) Н₄, где:

D_2 – стабильный (дебутанизированный) газовый конденсат с давлением насыщенных паров не выше 93325 Па, который состоит из углеводородов C_5 и выше.

M - содержание парафиновых углеводородов с неразветвленной цепью больше 50 - 60 % .

$(KГ)_2$ - среднекеросиновый, содержание фракций, выкипающих при температуре выше 200 °С 20–50 %.

(S_1) - бессернистый, содержание серы не более 0,05%.

N_4 - беспарафинистый, содержание в дизельной фракции комплексобразующих - менее 12 % (масс.).[4]

Газовый конденсат Берегового месторождения отличается легким фракционным составом, высоким содержанием бензиновых фракций, низким содержанием серы, практическим отсутствием смолисто-асфальтовых соединений. В связи с высоким содержанием нафтеновых углеводородов, имеет низкую температуру застывания, поэтому является прекрасным нефтехимическим сырьем и сырьем для производства моторных топлив.

Широкая фракция легких углеводородов, выделяемая из данного конденсата, имеет высокое содержание ценных для нефтехимических процессов компонентов.

Прямогонная бензиновая фракция может быть использована для получения высокооктанового бензина и как сырьё для пиролиза.

Из керосиновой и дизельной фракции можно получить ценные для нефтехимической промышленности смолы пиролиза, содержащие ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилол, нафталин и др.), и олефины. Также керосино-газойлевые дистилляты могут быть направлены на получение различных видов топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методическое руководство «ГАЗПРОМ» НПО «СОЮЗГАЗТЕХНОЛОГИЯ» по подсчету балансовых и извлекаемых запасов конденсата. – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 68 с.

2. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава: ГОСТ 31371 – 2008. – Введ. 2010–01–01. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 37 с.

3. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава: ГОСТ 2177 – 1999. – Введ. 2001– 01– 01. - Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. – 23 с.

4. Старобинец, И. В. Геолого-геохимические особенности газоконденсатов: справочник / И. В. Старобинец. – Ленинград : Недра, 1974. – 154 с.

СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ЧЕТКОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ НА УСТАНОВКАХ АВТ

Гуров Ю. П., доцент кафедры ПНГ, gurovjp@tyuiu.ru.
Курмачев Н. А., магистрант, nikita-kyrmschov@mail.ru.
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: в статье изучается установка переработки нефти. Такие установки составляют основную часть всех нефтеперерабатывающих предприятий.

Нефтепереработка – это многоступенчатый процесс химической и физической обработки сырой нефти, результатом которого является получение нефтепродуктов. Переработка нефти начинается с перегонки сырой нефти в отдельные углеводородные группы. Полученные в результате продукты непосредственно связаны с характеристиками обрабатываемой сырой нефти.

В связи с этим актуальной задачей является совершенствование работы данной установки.

Ключевые слова: АВТ, нефтепереработка, первичная переработка, ректификация, фракции.

Современные нефтеперерабатывающие заводы представляют собой крупные промышленные предприятия, комплекс мощных установок первичной переработки нефти, таких как гидроочистка, каталитический крекинг, депарафинизация масел, риформинг и т.д. Они оснащены современным оборудованием. Установка первичной переработки нефти играет большую роль на таких нефтеперерабатывающих заводах.

Из нефти получают товарные нефтепродукты, применяют при этом методы прямой перегонки нефти на фракции и при необходимости, изменяют их химический состав, дальнейшим проведением термических и каталитических процессов.

Из сырой нефти одним процессом нельзя получить ни один товарный нефтепродукт (за исключением газов), все они получают последовательной переработкой на нескольких установках. Установка ЭЛОУ-АВТ стоит первой. От показателей работы этой установки зависит эффективность следующих процессов очистки, газоразделения, каталитического крекинга, коксования и др[1].

Ректификация на большей части действующих установок протекает нечетко. Компоненты светлых дистиллятов, получаемых на установке, не соответствуют требуемому фракционному составу. В связи с этим происходит налегание фракций, вниз проваливается часть наиболее тяжелых фракций светлых нефтепродуктов [2].

Введением в сырьевой поток поверхностно-активного вещества – (соли никеля синтетических жирных кислот) $Ni(RCOO)_2$, где $R = C_9 - C_{15}$ можно добиться увеличения выхода светлых нефтепродуктов.

Способ заключается в следующем: в сырьевой поток ректификационной колонны вводится поверхностно-активное вещество $Ni(RCOO)_2$ в количестве 30-45 ppm, что приводит к ускорению испарения и кипения кубового продукта, вследствие увеличения поверхности на границе раздела фаз, а так же получение развитой поверхности способствует временного промежутка, необходимого для приближения к состоянию термодинамического равновесия, и увеличивается отбор отгоняемых фракций от потенциала, снижая потери отгоняемых фракций с кубовым продуктом.

Так же на процесс ректификации влияют следующие факторы:

1) Метод отбора дистиллята. Отбор дистиллята может осуществляться или непрерывно в процессе перегонки или периодически небольшими порциями.

2) Перепад давления. Перепад давления влияние на эффективность колонны. Чтобы пары проходили через колонну, они должны преодолеть сопротивление слоев жидкости на тарелках. Поэтому в кубе всегда должно быть некоторое давление, величина которого зависит прежде всего от типа тарелки и количества флегмы в ней, а также и от физических свойств перегоняемой жидкости. Чем меньше перепад давления в колонке, тем лучше протекает процесс ректификации. Поэтому при конструировании колонн, при прочих равных условиях, следует отдавать предпочтение тарелкам, создающим малый перепад давления. Особенно важно это для вакуум-разгонок.

3) Флегмовым числом называют, отношение количества орошения к количеству дистиллята за один и тот же промежуток времени, оказывает существенное влияние на четкость разделения компонентного влияния зависит от ряда причин и в первую очередь от эффективности колонки и относительной летучести разгоняемой смеси.

В связи с этим представляется интересным изучение работы установок первичной переработки нефти с целью повышения четкости разделения светлых фракций. Определения потенциальных возможностей увеличения мощности этих установок за счет оптимального подбора основного оборудования, увеличения сроков его эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учеб. пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа : Гилем, 2002. – 217 с.

2. Мановян, А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: учеб. пособие для вузов / А. К. Мановян. – Москва : Химия, 2001. – 568 с.

УДК 544.35

ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИЦЕЛЛЯРНЫХ СИСТЕМ

Гуров Ю.П., канд. техн. наук, доцент кафедры переработки нефти и газа, gurovjp@tyuiu.ru.

Садыков К.Д., магистрант, kozbaisadykov@mail.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Мицеллярные системы (МС) являются эффективными реагентами для повышения нефтеотдачи пластов. С использованием МС можно повысить коэффициент нефтеотдачи до 30%. Это позволит извлекать дополнительные объемы нефти по сравнению с существующими и снижать долю обводненности в скважинной продукции. Мицеллярные системы представляют собой раствор поверхностно-активных веществ (ПАВ), спирта, углеводов и воды. С учетом производимого сырья в России в качестве ПАВ для приготовления МС перспективны аммонийные соли жирных кислот. МС на их основе проявили достаточную эффективность в лабораторных условиях. Прирост коэффициента нефтевытеснения достигает 20%.

Целью работы является изучение влияния карбоната и бикарбоната натрия на вязкостно-температурные и нефтевытесняющие свойства мицеллярных систем на основе технической олеиновой кислоты.

Полученные результаты позволяют рекомендовать МС-17-90s для испытаний на фильтрационных моделях с кернами в близких к геолого-физическим условиям Западной Сибири.

Ключевые слова: нефтевытеснение, нефтеотдача, поверхностно – активные вещества, мицеллярные системы, карбонат натрия.

Нефтевытесняющие свойства мицеллярных систем для добычи нефти определяются их компонентным составом, в том числе природой и содержанием в них солей. Введение солей существенно влияет на вязкостно-температурные свойства МС.

В реальных условиях пластовая вода является минерализованной, содержащей от 4 до 15% масс.солей. Многовалентные катионы солей при большой их концентрации снижают предельное содержание воды, необходимое для обращения фаз МС, или разлагают МС на фазы (нефть и воду) из-за повышения поверхностного натяжения между углеводородной

и водной фазами. Это приводит к существенному снижению эффективности МС [1].

Однако, введение солей некоторых одновалентных металлов улучшает вязкостно-температурные свойства МС. Например, при введении 0,1-4,0 % мас. солей натрия и калия, NaHCO_3 в анионные ПАВ на основе олеиновой кислоты и ПЭПА гелеобразование несколько устраняется [1]. Наличие солей в составе раствора оказывает влияние на количественное содержание других компонентов. Также наличие солей увеличивает область применения МС [2].

Пластовые воды, содержащие соли с одно- и многовалентными катионами, совместимы с МС, когда поверхностное натяжение между МС и водой меньше чем 0,5дин/см. В таком случае пластовая вода может перемещаться перед фронтом МС или совместно с ней. Сильно минерализованная пластовая вода попадает в оторочку МС, не смешиваясь с ней, двигается за фронтом вытеснения. Совместно с оторочкой МС пластовая вода насыщает её солями и снижает эффективность процесса вытеснения остаточной нефти из заводнённой среды. Соли всегда присутствуют в молекулярном слое воды, окружающем поверхность породы. Эти соли не движутся с основной массой пластовой воды, но их катионы легко удаляются и поглощаются МС [3].

Таким образом, при малом содержании солей в пластовой воде нефтеотдача больше, а при высоком меньше, чем при использовании пресной воды. Ухудшение нефтевытесняющих свойств МС при большом содержании солей объясняется следующими факторами [4]:

1. При повышенном содержании солей увеличивается межфазное натяжение на границе МС и буферной жидкости, а также ухудшается нефтевытеснение самой оторочки МС.

2. МС может потерять однофазность или изменять внутреннюю структуру –инверсия мицелл. При дальнейшем добавлении в такой раствор многовалентных катионов он становится высоковязкой эмульсией и ПАВ может адсорбироваться на поверхности породы.

3. Многовалентные ионы снижают вязкость, повышают подвижность буферной жидкости. Это приводит к смешению вытесняющей жидкости с другими средами пласта.

Чтобы уменьшить отрицательное влияние солей на МС, можно применять такие меры, как [5]:

1. Добавление к МС неорганических соединений (например, карбоната натрия или фосфата натрия), которые нейтрализуют отрицательное воздействие солей.

2. Прокачка перед оторочкой МС пресной воды в количестве 0,1-0,5 от ПО или раствора 0,01-0,1% NaCl , которые удаляют многовалентные ионы (Mg^{2+} , Ca^{2+}).

3. Добавление стабилизаторов (монобутиловый эфир этиленгликоля).

4. Выравнивание содержания солей по количеству и содержанию в МС, пластовой воде и породе. При этом соли не будут переходить из воды или породы в МС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байда, А. А. Влияние неорганических солей на свойства мицеллярных систем для добычи нефти / А. А. Байда, С. Г. Агаев // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 5. – С. 44-46.

2. Карабалин, У. С. О методах увеличения нефтеотдачи пластов на поздней стадии заводнения месторождений / У. С. Карабалин, К. Н. Ибрашев, М. М. Ермеков // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 10. – С. 43-45.

3. Хлебников, В. Н. Коллоидно-химические процессы в технологиях повышения нефтеотдачи : автореф. дис. док. тех. наук: 02.00.11 / В. Н. Хлебников. – Казань: Казанский гос. тех. ун-т, 2005. – 48 с.

4. Бельмесев, Д. В. Разработка мицеллярных систем для добычи нефти на основе технической олеиновой кислоты марки «Б-115» / Д.В. Бельмесев // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Тюмень, 2017. – С. 143- 145.

5. Нурутдинов, А. А. Повышение эффективности вытеснения нефти с использованием экологически безопасных композиций поверхностно-активных веществ : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.04 / А. А. Нурутдинов ; УГНТУ. - Уфа, 2015. -120 с.

УДК 541.6

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КАТАЛИЗ РЕАКЦИЙ СОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА С ПРОПИЛЕНОМ

Гуров Ю. П., канд. техн. наук, доцент кафедры переработки нефти и газа,
guroujp@tyuiu.ru.

Сулейманова Л. Ф., магистрант, liana270895@yandex.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. На сегодняшний день, благодаря своим свойствам полимеры применяются повсюду: в машиностроении, текстильном производстве, медицине, химической промышленности и сельском хозяйстве. С помощью этих соединений изготавливают такие изделия как резину, пластмассы, пленки, клей, посуду. Однако не все свойства полимеров удовлетворяют требованиям современной промышленности, некоторые из

них имеют ряд преимуществ отсутствующие у других. Для решения этой проблемы существует эффективный способ синтеза полимеров с заданными свойствами – сополимеризация, это полимеризация, в которой участвуют два или несколько различных мономеров. Цель работы – изучить основные закономерности и катализ реакций сополимеризации этилена с пропиленом. Этот процесс имеет исключительно важное практическое значение благодаря широким возможностям для целенаправленного синтеза полимеров с определенными свойствами и расширения ассортимента полимерных материалов на базе ограниченного числа основных промышленных мономеров.

Ключевые слова: газофазная сополимеризация, блоксополимер, статсополимер, катализатор Циглера-Натта.

При полимеризации смеси двух мономеров получается полимер, в структуре каждой макромолекулы которого содержатся звенья обоих мономеров. Такой полимер получил название сополимер, а сам процесс его получения – сополимеризация. Закономерности процесса сополимеризации значительно сложнее, чем гомополимеризации, так как практически невозможно найти два мономера, которые проявляли бы одинаковую реакционную способность по отношению к инициаторам или катализаторам процесса [1].

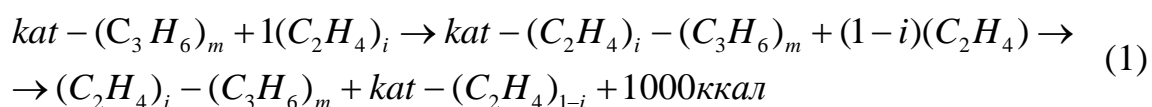
Процесс получения сополимеров пропилена с этиленом с технологической точки зрения состоит из двух этапов:

- получение базового гомополимера;
- сополимеризация пропилена с этиленом.

Получение базового гомополимера в первичном реакторе производят аналогично как при получении гомополимера [2].

Во вторичном реакторе в процессе сополимеризации часть активного гомополимера (катализатор-гомополимер) вступает в реакцию с этиленом, образуя блочный сополимерный продукт-сополимер пропилена с этиленом.

Реакция сополимеризации экзотермична и протекает по следующему уравнению:



При применении технологии газофазной полимеризации пропилена технологии Innovene статистические сополимеры этилена и пропилена производятся путем добавления этилена и пропилена в реактор-полимеризатор. В целом, механизм сополимеризации этилена и пропилена аналогичен механизму гомополимеризации пропилена; основным очевидным отличием является использование двух мономеров, этилена и пропилена, вместо одного. В результате, при разрастании цепи статистического сополимера на соответствующем этапе любой из двух типов мономеров может самостоятельно встраиваться на активном центре.

Поскольку этилен намного более химически активен, нежели пропилен, именно он будет преимущественно встраиваться в полимерную цепь. Химическая активность сомономера имеет тенденцию к снижению при увеличении пространственного затруднения около двойной связи в следующем порядке:

Этилен > Пропилен > 1-Бутен > линейные 1-олефины > разветвленные 1-олефины

Количество этилена и пропилена, встраивающихся в полимерную цепь, регулируется относительным количеством данных мономеров, присутствующих в реакторе. В частности, обеспечить требуемую концентрацию этилена в конечном продукте можно путем регулирования молярного отношения этилена и пропилена, содержащихся в паровом пространстве реактора [3].

В отдельно взятой молекуле полимера распределение этилена является практически случайным. Однако наблюдается широкое распределение этилена между молекулами. В целом, больше мономеров этилена встраивается в менее стереоспецифические молекулы с меньшей молекулярной массой. Такое широкое распределение по составу объясняется возможным наличием различных типов активных центров катализатора, на которых полимеризация этилена происходит практически случайным образом, но с различной вероятностью встраивания молекул [2].

Каталитическая система, изучаемая в данной работе, используется на ООО «Тобольск-Полимер» в числе других катализаторов. Точный состав катализатора и модификатора являются собственностью компании INEOS. Данный катализатор является катализатором Циглера-Натта 4-го поколения. Каталитическая система представляет собой: катализатор CDi; сокатализатор триэтилалюминий (ТЭАЛ); внешний модификатор на основе силана [4].

Катализатор CDi представляет собой суспензию в минеральном масле с массовыми долями 30% каталитической смеси и 70% масла. В состав входит $TiCl_4$ и ди-н-бутилфталат (ДБФ) на подложке $MgCl_2$. ДБФ добавляется в катализатор в качестве внутреннего модификатора для контроля стереоспецифичности.

Данные компоненты присутствуют в следующих количествах:

- Титан (% масс.): 1,6 - 2,6
- Магний (% масс.): 0,4 - 0,6
- ДБФ (% масс.): 13 - 16
- Хлорид (% масс.): 45 - 70

При взаимодействии с триэтилалюминием происходит восстановление соединений четырехвалентного титана (Ti^{+4}) до активных соединений Ti^{+3} . ТЭАЛ также инициирует процесс полимеризации за счет

замещения одного из атомов хлора (Cl) на активном центре алкильной группой с образованием первой связи Ti-C.

Помимо выполнения функции сокатализатора, ТЭАЛ также выступает в качестве рафинирующего реагента, удаляющего остаточные примеси некоторых каталитических ядов, содержащихся в мономере, минеральном масле [3].

Внешний модификатор на основе силана служит для обеспечения дополнительной стереоспецифичности за счет управления ориентацией мономерных звеньев в процессе их присоединения к полимерной цепи. Если не использовать внешний модификатор на основе силана, то, несмотря на присутствие внутреннего модификатора (ДБФ) в частицах катализатора, будет образовываться чрезмерное количество атактического полимера. В качестве внешнего модификатора используется диизобутилдиметоксисилан (ДИБДМС).

В результате рассмотренного процесса образуются сополимеры, макромолекулы которых состоят из двух или более структурных звеньев. Сополимеризация позволяет получать высокомолекулярные вещества с разнообразными свойствами. В сополимерах сочетаются свойства полимеров, полученных из каждого в отдельности взятого мономера [3]. С помощью данного процесса можно регулировать такие характеристики полимерных материалов, как тепло – и термостойкость, эластичность, прочность, прозрачность, адгезия, способность к вулканизации, стойкость к действию растворителей, ионообменные свойства и т.д. Сополимеризация представляет также научный интерес как надежный метод количественной оценки реакционной способности мономеров [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двенадцатая международная конференция «Полипропилен 2015», организованная компанией INVENTRA в составе группы CREON [Электронный ресурс] / С. Д. Тургунов [и др.] // Полипропилен 2015. – 2015. - № 6. – Режим доступа: <http://www.creonenergy.ru>

2. Майера, Э. А. Эффективная практика глубокой переработки газового сырья в химическую продукцию на предприятиях ОАО «СИБУР Холдинг» и используемые технологические процессы: учебник / Э. А. Майера. - Томск :ТГУ, 2014. - 476 с.

3. Кулезнев, В. Н. Химия и физика полимеров: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений / В. Н. Кулезнев, В. А. Шершнеv. – Москва : КолосС, 2007. – 367 с.

4. Зуев, В. В. Физика и химия полимеров : учебное пособие / В.В. Зуев, М. В. Успенская, А. О. Олехович. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. – 45 с.

5. Введение в химию высокомолекулярных соединения : учебное пособие / А. А. Музафаров [и др.]. - Москва: Химия, 2010. – 47 с.

УДК 622.276.432

МАССИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТООТКЛОНЯЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ. ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Демяненко Н.А.¹

Хорюшин В.Ю.², инженер 1 категории, HoryushinVY@tmn.lukoil.com

Колова Т.А.², ведущий специалист

Мазитов Р.Ф.², начальник отдела

Халин В.В.², главный специалист

¹г. Гомель, Гомельский государственный технический университет им.

П.О. Сухого,

²г. Тюмень, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

«КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени

Аннотация. В результате снижения технологической эффективности химических методов ПНП существует необходимость в поиске новых подходов к данному виду увеличения нефтеотдачи пластов. Ранее был проработан и реализован проект массивированной закачки потокоотклоняющих составов в нагнетательные скважины на объекте АВ₁₋₂ Кечимовского месторождения, который показал высокую эффективность. Учитывая полученный опыт, метод массивированных обработок предлагается опробовать на объекте БС₁₂ Тевлинско-Русскинского месторождения в связи с необходимостью увеличения эффективности потокоотклоняющих технологий и улучшения выработки залежи.

Ключевые слова. Химические методы увеличения нефтеотдачи (ХМУН), массивированная закачка потокоотклоняющих составов, выравнивание профиля приёмистости.

В последние 15-20 лет основные месторождения нефти, практически, всех нефтегазодобывающих компаний вступили на завершающую стадию разработки, которая характеризуется высокой степенью обводнения добываемой продукции (85-95 % и более). При этом, достигнутые коэффициенты извлечения нефти (КИН) составляют от 40 до 70 % от проектных. Достижение проектных КИН возможно только в результате широкого внедрения технологий повышения нефтеотдачи пластов (ПНП).

В последние годы наиболее распространёнными технологиями являются технологии с использованием полимерных и эмульсионных систем [1, 2]. Они позволяют создавать потокоотклоняющие «экраны» в

промытых зонах пластов и перераспределять фильтрационные потоки в направлении низкопроницаемых невыработанных нефтенасыщенных зон.

В ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» подобные мероприятия получили широкое применение. Однако, с увеличением объёма операций снижается их эффективность. В частности, по месторождениям ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» показатель удельной дополнительной добычи нефти (на 1 скважино-операцию) с 2012 по 2017 г. снизился с 1093 до 716 тонн, т. е. в 1,53 раза.

В связи с этим для повышения удельной эффективности химических методов ПНП предложено опробовать массивированные обработки потокоотклоняющими составами (ПОС). Такой проект был разработан и реализован на объекте АВ₁₋₂ Кечимовского месторождения в 2016-2017 гг. [3]

Сущность метода заключается в массивированной и единовременной обработке ПОС всех нагнетательных скважин, участвующих в вытеснении нефти в пределах каждой из выделенных лито-фациальных зон пласта. По результатам массивированной обработки участков оценена реакция добывающего фонда на воздействие (снижение/стабилизация обводнённости продукции скважины, а также снижение темпов ее роста). Определены доминирующие геологические и технологические факторы, влияющие на реакцию добывающего фонда скважин, проведена зональная поскважинная корректировка типов потокоотклоняющих композиций, их объемов и режимов нагнетания для каждой лито-фациальной зоны и рекомендовано повторное выполнение массивированной обработки ПОС, причем процесс необходимо повторять циклически с периодом, равным периоду действия эффекта от каждой массивированной обработки.

Объект АВ₁₋₂ Кечимовского месторождения состоит из пласта АВ₁³ и АВ₂, фильтрационно-емкостные (ФЕС) свойства которых значительно отличаются друг от друга. Пласт АВ₁³ – низкопроницаемый, пласт АВ₂ – высокопроницаемый.

По результатам литофациального анализа пласт АВ₁³ формировался в мелководно морских условиях трансгрессивного режима осадконакопления. Пласт АВ₂ представлен континентальными и переходными осадкообразованиями, которые характеризуется высокой литологической неоднородностью. В составе континентальных отложений пласта АВ₂ выделены два основных литотипа разреза. Первый литотип – русловые отложения, второй литотип – прирусловые отложения (пойменные). В результате гидродинамического моделирования выявлено отставание выработки нефти по прирусловой части пласта АВ₂. Именно по этой причине массивированному воздействию потокоотклоняющими технологиями подверглись отложения пласта АВ₂.

Следует отметить, что удельная эффективность единичных обработок нагнетательных скважин ПОС по данному объекту с 2013 по

2015 год снизилась с 870 до 576 т/скв.-опер. соответственно. Внедрение массивованного воздействия на пласт позволило переломить эту тенденцию и сохранить эффективность работ в период 2016-2017 гг. на уровне 550-570 т/скв.-опер. при увеличении количества обработок с 37 до 69 (+155 %). Данный факт доказывает преимущество массивованного воздействия ХМ ПНП над единичными обработками нагнетательных скважин.

Учитывая опыт и геолого-геофизические особенности объекта АВ₂ Кечимовского месторождения, были подобраны объекты с условно идентичными проблемами разработки на других месторождениях. В частности, рассмотрен объект БС₁₂ Тевлинско-Русскинского месторождения. В состав горизонта БС₁₂ входят два продуктивных гидродинамически связанных пласта БС₁₂¹ и БС₁₂², в каждом из которых выделено по одной залежи структурно-литологического типа. Разрез отложений представлен переслаиванием песчано-алевритовых разностей и глин. В пределах контура нефтеносности объект БС₁₂ разделён на четыре участка: 1а, 1б, 2 и 3, различающихся внутренним строением горизонта БС₁₂. Основной причиной потери добычи нефти на объекте БС₁₂ является рост обводнённости добываемой продукции. Анализ состояния разработки залежи позволил сделать вывод о неравномерной выработке запасов. При средней обводнённости продукции скважин 85,3 %, отбор от начальных извлекаемых запасов составляет 73,5 %. Учитывая геологическую неоднородность объекта БС₁₂, оценили выработку каждого участка. Наиболее благоприятные показатели выработки соответствуют участку 2. Неудовлетворительные показатели разработки характерны участку 1б.

Анализ прогнозного КИН по характеристикам вытеснения позволил сделать вывод о том, что проектный КИН будет достигнут лишь по участку 2. Участки 1б и 3 являются отстающими по показателю выработки запасов. Отставание от проектных показателей участка 1б связано с неравномерностью продвижения ВНК, а отставание участка 3 связано с прорывом закачиваемой воды. Участок 3 является наиболее перспективным для реализации мероприятий по массивованной закачке потокоотклоняющих составов. С целью уточнения источника опережающего обводнения выделена группа скважин, располагающихся на юге участка 3. Данные скважины находятся на кустовых площадках 48 и 51, участок выделяется высокой плотностью запасов (8,0 тыс.т/га) и высокой проницаемостью ($19,6 \cdot 10^{-3}$ мкм²). Характер выработки запасов нефти в пределах 48 и 51 кустовых площадок значительно ухудшает картину выработки всего участка 3. Значение отборов от НИЗ скважин кустов 48 и 51 ниже, чем по всему участку 3 (65,7 % против 77,2 %). Анализ результатов ПГИ показывает, что фильтрация закачиваемой в пласт жидкости осуществляется по кровельной части пласта в высокопроницаемые зоны, а подошвенная часть остаётся невыработанной.

С учётом всех вышеизложенных аргументов, разработана программа массивированной закачки потокоотклоняющих составов по южной части участка 3 (район кустов 48 и 51). Закачкой ПОС планируется охватить все нагнетательные скважины выделенной фации пород-коллекторов в течение 1-2 месяцев, для создания максимального объёма потокоотклоняющего экрана и максимального перераспределения закачиваемой в пласт воды в нефтенасыщенные низкопроницаемые разности пород коллекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shandrygin, A. N. Current Status of Enhanced Recovery Techniques in the Fields of Russia / A. N. Shandrygin, A. Lutfullin // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. - Denver, Colorado, USA, 2008. – SPE 115712.

2. Mulyak, V. V. Golden Miles in Oil Recovery / V. V. Mulyak, M. V. Chertentkov, N. A. Veremko // SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition. - Moscow, Russia, 2016. – SPE 184385.

3. Комплексный подход к реализации методов по выравниванию профиля приёмистости скважин. Опыт массивированного воздействия потокоотклоняющими технологиями на русловые отложения объекта АВ1-2 Кечимовского месторождения / В. Ю. Хорюшин [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – № 9. – С. 86-94.

УДК 544.654.2

РАЗРАБОТКА КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЯ ИЗ СПЛАВА FE-NI

Денисенко Д.В., обучающийся, ardiasardias@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Методом высокочастотного переменного тока (ВПТ) получены наноструктурные покрытия сплавом Fe-Ni, содержащие новые фазы: гексагональную плотноупакованную (ГПУ) эpsilon-фазу железа (80 масс. % Fe) и ГПУ-фазу + интерметаллид Fe-Ni₃ (68 масс. % Fe). Покрытия получены осаждением при нормальных условиях (P=0.1MPa, T=298K) из водных растворов простых солей. Обе новые фазы обеспечивают высокую хладостойкость (нижние предел рабочей температуры достигает -150°C) по антикоррозионным свойствам покрытия железо-никель (ε-железо или ε-железо + интерметаллид) превосходят стали AISI 316L более, чем в 5 раз, а по микротвердости в 2 раза.

Ключевые слова. Сталь, сплавы, покрытия, материалы, новые фазы, электроосаждение.

Т. Takahashi, W. Basset и D. Bancroft [1] методом ударной волны впервые получили железо с новой гексагональной плотноупакованной (ГПУ) ϵ -фазой. Особенность ГПУ фазы – ее уникальные свойства: высокая электропроводность, твердость, магнитные свойства и др. Во всех методах использовались высокие давления. Главное, ϵ -фаза при ступенчатом снятии нагрузки вновь превращалась в феррит.

Цель работы: получение нового антикоррозионного покрытия сплавом Fe-Ni, для защиты нефтегазопромыслового оборудования, эксплуатируемого в условиях Арктики.

Основные задачи: получить покрытие, содержащее ϵ -Fe при нормальных условиях и сохраняющее свои свойства длительное время без обратного фазового перехода ϵ -Fe \rightarrow α -Fe; по свойствам оно должно обладать высокой хладостойкостью, коррозионной стойкостью, твердостью, экономичностью.

Методы исследования. В качестве метода нанесения покрытия предложен метод высокочастотного переменного тока (ВПТ).

Для исследования фазового состава применялся метод рентгеноструктурного анализа с использованием дифрактометра D2 Phaser

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) («NTEGRA Auga») для исследования наноструктуры и морфологии поверхности.

Анализ результатов. Получено покрытие сплавом Fe-Ni, содержащее наряду с основной объёмно-центрированной кубической (ОЦК) α -фазой (феррит) две новые фазы: ГПУ-эпсилон-Fe и интерметаллид FeNi₃.

Установлено, что ϵ -фаза формируется только в результате фазового перехода α -Fe \rightarrow ϵ -Fe [2]; ϵ -фаза имеет наноструктурное строение, что согласуется с данными Takahashi, Basset и Bancroft. Фаза эпсилон железа обладает плотностью 10,24 г/см³, что на 31% больше, чем у α -Fe.

Покрyтия Fe-Ni, содержащие более 80% железа, являются двухфазными (α -Fe + ϵ -Fe), а сплав с содержанием 68% железа обладает тремя фазами (α -Fe, интерметаллид FeNi₃ и ϵ -Fe). Следует отметить, что при стационарных условиях осаждения интерметаллид FeNi₃ не образуется.

Присутствие эпсилон фазы в сплаве Fe-Ni обеспечивает высокую хладостойкость, нижний предел рабочей температуры достигает -150°C. С другой стороны, покрытие сплавом Fe-Ni обладает высокой защитно-коррозионной стойкостью в солевых средах. Согласно табл.1 наши покрытия превосходят по антикоррозионным свойствам нержавеющей стали AISI 316 более чем в 5 раз; а жаропрочную сталь 20X23H18 в 4 раза, и по микротвердости в 2 раза.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что покрытия сплавом Fe-Ni (ϵ -фаза) не окисляются на воздухе и сохраняют химический и фазовый состав без изменения (полученные образцы сохраняют их в течение 4-х лет).

Характеристики покрытий

Параметр	Марка стали				
	Рыночные покрытия			Разработанные покрытия	
	AISI 316L – 03X16H15M3	12X17	20X23H18	Fe-Ni (α -Fe, ϵ -Fe)	Fe-Ni (FeNi ₃ , α -Fe, ϵ -Fe)
Примеси	0,035	0,06	0,055	<0,01	
Классификация	Коррозионностойкие		Жаропрочные	Коррозионностойкие	
T°min, °C	-196	-20	-40	-120	-150
T°max, °C	+550	+450	+1000	+350	+350
HV, МПа	517	529	800	1600	1780
Толщина покрытия, мкм	от 350	от 350	от 350	2 – 1000	2 – 2000
Глубинный показатель коррозии, *10 ⁻³ мм за год	4,5	5,4	3,9	1,08	0,84
Цена руб./т (толщина защитного слоя, мм)	369 990 (0,5); 365 000 (2)	80 000 (1,5)	620 000 (0,5)	133748 (0,5)	134956 (0,5)

Высокая микротвердость позволяет рекомендовать сплав Fe-Ni, содержащий ГПУ фазу, в качестве конструкционного материала: высотные дома, мосты, подземные сооружения, тоннели и др.

Расчет показал экономическую целесообразность применения метода ВПТ для получения высококачественных покрытий, что говорит о рентабельности внедрения как метода получения, так и самого покрытия в массовое производство.

Основываясь на экспериментальных и литературных данных, от полученных сплавов на основе железа можно ожидать ряд других ценных эксплуатационных свойств (электропроводных, магнитных и т.д.). Исходя из всего вышесказанного, с точки зрения разнообразия, и высокого уровня эксплуатационных свойств, сплав Fe-Ni, содержащий ϵ -фазу (или ϵ -Fe + FeNi₃), – материал будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Takahashi, T. High-Pressure Polymorph of Iron / T. Takahashi, W. Basset // Science. - 1964. - V.145. – P. 483-486.

2. Черепанов, Г. П. Уравнение состояния при высоких давлениях: метод D-U диаграмм / Г. П. Черепанов, К. Р. Закиров // Физическая мезомеханика. – 2014. – № 4. – С. 13-28.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ

Дерюгина О. П., канд. техн. наук, доцент, derjuginaop@tyuiu.ru
Мухин К. А., бакалавр, kirillprorus@gmail.com,
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Рассмотрены проблемы неэффективного сжигания отработанных газов на современных нефтеперерабатывающих заводах. Большое количество газа на заводах сжигается впустую. Задача заключалась в рассмотрении и в анализе результатов научно-технических достижений и предложении наиболее оптимального способа использования отработанных газов. Поскольку большое количество сырья на нефтеперерабатывающих заводах на сегодняшний день не используется, хотя и имеет на то перспективы.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающий завод, отработанный газ, факельная установка.

Сегодня на многих нефтеперерабатывающих заводах используются факельные установки, которые позволяют утилизировать отработанный газ максимально экологичным способом.

Факельная установка – система, использующаяся на нефтегазодобывающих и перерабатывающих предприятиях для бездымного сжигания выбросов, представлена на рисунке 1 [1].

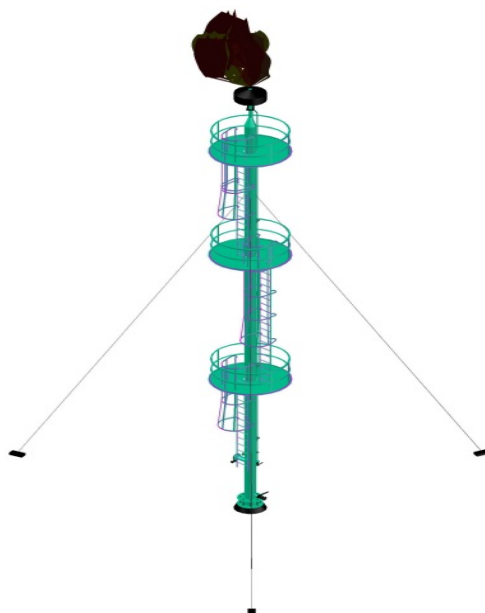


Рис. 1. Факельная установка

В результате работы заводов по переработке нефти отработанный газ из-за большого содержания вредных веществ не может сжигаться без использования специального устройства. Этим устройством как раз и является факельная установка.

На факельных установках газ просто сжигается и не используется, но при его сжигании вырабатывается большое количество тепла, а это тепло есть возможность использовать.

Так же на заводах используются трубчатые печи для нагрева нефти. Данные печи представлены на рисунке 2. Трубчатые печи могут обогреваться жидким топливом. Продукты горения нагревают огнеупорную кладку и трубы змеевика за счет радиации факела и за счет конвекции. Из рабочей камеры продукты горения поднимаются вверх на высоту перевальных стен конвекционной камеры и за счет конвекции нагревают пучок труб, расположенный в ней, а затем поступают через борозы и дымовую трубу в атмосферу [2].

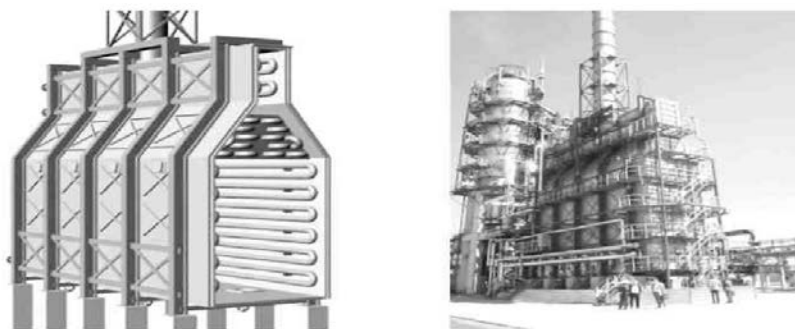


Рис. 2. Трубчатые печи

Для нагрева можно также использовать и отработанный газ, который будет нагревать нефтепродукты, что позволит не выбрасывать тепловую энергию в атмосферу, что позволит сэкономить на топливе, которое сейчас используется для нагрева нефтепродуктов.

Таким образом, большое количество сырья на нефтеперерабатывающих заводах на сегодняшний день не используется, хотя и имеет на то перспективы. Стоит начать использование отработанных газов для получения тепла в уже существующих установках для большей экономичности производства. Примером таких установок являются трубчатые печи на заводах, что позволит уменьшить затраты топлива для нагрева сырья, тем самым получим улучшенные экономические показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Факельная установка [Электронный ресурс] / Саратовский резервуарный завод «САРРЗ». – Режим доступа: https://sarrz.ru/produkcija/separatory_otstojniki/fakelnaja_ustanovka.html

2. Бельский, В. И. Промышленные печи и трубы / В. И. Бельский, Б. В. Сергеев. – Изд. 2-е, исправ. и доп. – Москва : Стройиздат, 1974. – 161 с.

УДК 621.577:622.69

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ НЕФТИ

Дерюгина О.П., канд. техн. наук, доцент кафедры ПНГ, olga-7266@mail.ru.

Борисова С.В., магистрант, chipka_12345@mail.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: в данной работе представлена тема энергосбережения при промысловой подготовке нефти. Показаны реологические исследования нефти. В процессе работы проводились экспериментальные исследования динамической вязкости, касательного напряжения сдвига, предельного напряжения сдвига (предела текучести) нефти и водонефтяных эмульсий исследуемого месторождения. Приведены выводы по данной работе, а также по оптимизации режимов работы установок подготовки нефти.

Ключевые слова: нефть, технологические процессы, промысловая подготовка, реологические исследования.

Технологические процессы промысловой подготовки нефти потребляют значительное количество топливных и энергетических ресурсов. Расходы этих параметров практически всегда непостоянны, из-за ряда факторов:

Износ оборудования;

- Степень загрузки узлов, блоков, или технологической установки в целом;

- Сезонность.

- Изменение технологических режимов работы отдельного оборудования.

Перечисленные факторы ведут к изменению удельных расходов топлив, теплового баланса установки, отдельных блоков. Следовательно, режим работы оборудования и объектов на производственных площадках подготовки нефти различаются, расчетные значения от изначальных проектных значений.

Инфляция топлива и энергетических ресурсов влечёт за собой мероприятия по анализу эффективного использования и обоснования соответствующих расходов. Если говорить о проектах промышленной подготовки нефти оптимальные расходы топливных и энергетических ресурсов определяют с учётом различных факторов, к числу которого относят применяемое технологическое оборудование, возможностей ремонтных баз. Эти факторы оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели всего производства. Например, теплотехническое оборудование, даже на начальном этапе использования не могут достигнуть проектных (паспортных) значений.

На каждом объекте промышленной подготовки нефти используются печи. Большинство проектов закладывало в основу трубчатые печи, которые оснащены панельными горелками беспламенного типа. Печи находятся в эксплуатации на производстве несколько десятков лет, что говорит об изношенности состояния на данный момент, а также об изменениях режимов работы данного оборудования. Рассмотрим основные характеристики данных печей.

Энергетический ресурс представляет собой носитель энергии, энергия которого используется, или может быть использована, при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, а также вид энергии (атомная, тепловая, электрическая, электромагнитная энергия или другой вид энергии). Вторичный энергетический ресурс – это энергетический ресурс, полученный в виде отходов производства и потребления или побочных продуктов, в результате осуществления технологического процесса или использования оборудования, функциональное назначение которого не связано с производством соответствующего вида энергетического ресурса. Энергосбережение – это реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг).

В настоящее время каждое предприятие должно выполнять Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

Производство одностадийного дегидрирования, как было сказано выше, является более выгодным не только по аппаратурному оформлению, но также по энергозатратам и энергосбережению.

Например, на отдельных участках производства выделяется тепловая энергия, которая используется заново, либо в других отделениях установки дегидрирования, что приводит к значительной экономии, поскольку энергоресурсы достаточно дороги.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования динамической вязкости, касательного напряжения сдвига, предельного напряжения сдвига (предела текучести) нефти и водонефтяных эмульсий исследуемого месторождения и смеси нефтей 1 и 2 месторождений в интервале эксплуатационных температур с использованием ротационного вискозиметра РЕОТЕСТ RV 2.1.

В результате исследований были определены значения основных реологических параметров (динамической вязкости, касательного напряжения сдвига, предельного напряжения сдвига (предела текучести) для выше указанных проб нефти и водонефтяных эмульсий в интервале эксплуатационных температур, а также определены значения температур и обводненностей, при которых происходит расслоение эмульсий.

Эмульсии с обводненностью более 70,0 % исследуемая нефть 1 месторождения не образует. Эмульсия обводненностью 80,0 % является нестабильной и расслаивается сразу после приготовления. Область расслоения обозначена пунктирными линиями будет располагаться между на уровне 75%.

Результаты определения температуры застывания для исходной пробы нефти данного месторождения с обводненностью 25,4 % и для пробы нефти после 3-х суток осушки хлористым кальцием $W_{\text{ост}}=1,2\%$.

Таким образом, на основании проведенных реологических исследований нефти 1 месторождения, смеси с нефтью 2 месторождения и водонефтяных эмульсий в интервале эксплуатационных температур, можно сделать следующие выводы:

1. Нефть исследуемого месторождения образует водонефтяные эмульсии с обводненностью до 70%, при этом 70%-ная водонефтяная эмульсия стабильна даже при высоких температурах. Эмульсии с обводненностью более 70% расслаиваются;

2. Смесь нефтей в соотношении 30 % нефти заданного месторождения и 70 % нефти исследуемого второго месторождения также образует водонефтяные эмульсии с обводненностью до 70%. Эмульсии с обводненностью более 70% расслаиваются.

Полученные нами значения, помогут оптимизировать потребление топливных и энергетических ресурсов, а также сократить их расход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие / С. А. Ахметов. – Уфа : «Гилем», 2002. - 672 с.

2. Лебедев, Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза: учебник для вузов / Н. Н. Лебедев. – Москва : «Химия», 1998. – 592 с.

3. Ахмедьянова, Р. А. Химическая технология переработки газового сырья: учебное пособие / Р. А. Ахмедьянова, А. Г. Ликумович. – Казань: «Издательство КНИТУ», 2015. – 184 с.

УДК 665.612.2

ЦЕННЕЙШИЙ ЭНЕРГОРЕСУРС РОССИИ - ПОПУТНЫЙ НЕФТЯНОЙ ГАЗ

Дерюгина О. П., канд. техн. наук, доцент, derjuginaop@tyuiu.ru

Бичевина Е. А., бакалавр, katyabichevina@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Актуальная проблема большинства нефтедобывающих компаний - утилизация попутного нефтяного газа (ПНГ) не просто сжиганием и с колоссальными экономическими и экологическими потерями, а с пользой и выгодой для страны. Необходимость выхода на мировой уровень утилизации попутного нефтяного газа и обеспечение использования его в объеме 95%- задача трудная, но осуществимая. А значит изучение научно-технических достижений в этой области, поиск современных способов, анализ и разработка новых технологий становится главнейшей задачей нефтегазодобывающих предприятий сегодня.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, газонефтехимия, легкие углеводороды.

На сегодняшний день в России одним из важных и ценных энергоресурсов есть и остается попутный нефтяной газ (ПНГ), который извлекают в процессе добычи нефти. Однако ценность этого ресурса была открыта не так давно, поскольку раньше он считался лишь дополнительным продуктом процесса [1]. Сжигание ПНГ было нерациональным решением по его использованию. В начале XXI века были предприняты меры по увеличению доли переработки попутного нефтяного газа на газонефтехимических заводах. Эти мероприятия значительно повышают экологический и экономический аспект этой отрасли. По официальным данным, запас извлекаемого нефтяного газа вырос в 3 раза с 25 млрд. м³ в 1995 г. до 80 млрд м³ в 2016 году. Также этот показатель связан с ростом добычи нефти на месторождениях Западной Сибири.

Попутный нефтяной газ-кладезь легких углеводородов, в этом и заключается ценность этого ресурса. ПНГ содержит в своем составе: метан, этан, пропан, бутан и т.д ,растворенные в нефти[2].Состав и свойства ПНГ могут быть различны в зависимости от месторождения

добычи нефти, его расположения . Помимо легких углеводородов в составе содержится некоторое количество азота N_2 и диоксида углерода CO_2 [3].

В таблице 1 приведен состав попутного нефтяного газа одного из крупнейших месторождений Западной Сибири в летний и зимний период времени. Разработка данного нефтяного месторождения началась в 80-годах, и в настоящее время оно находится в поздней стадии разработки. Большой процент запасов данного месторождения относится к трудно-извлекаемым запасам. В настоящее время ПНГ низкого давления после сепарации направляется для сбора и дальнейшей передачи на компрессорную станцию. В дальнейшем газ может быть использован в качестве топлива для технологических печей, котельной. В аварийных случаях газ направляется на факел. Теплотворная способность попутного нефтяного газа составляет 11680 ккал/м³.

Таблица 1

Состав попутного нефтяного газоместорождения Сургутского района ХМАО
Тюменской области

Наименование компонентов	Химическая формула	Содержание, %			
		объемное		массовое	
		летний период	зимний период	летний период	зимний период
Метан	CH_4	68,590	67,547	40,395	40,591
Этан	C_2H_6	4,398	5,521	4,855	6,219
Пропан	C_3H_8	10,647	11,012	17,235	18,189
Изобутан	i- C_4H_{10}	3,448	4,842	7,356	10,524
Бутан	C_4H_{10}	7,217	6,987	15,400	15,213
Изопентан	i- C_5H_{10}	2,011	2,038	5,326	5,508
Пентан	C_5H_{10}	0,353	0,415	0,934	1,122
Гексан	C_6H_{12}	1,994	отсутствует	6,308	отсутствует
Гептан	C_7H_{16}	0,294	0,317	1,082	1,190
Углекислый газ	CO_2	0,053	0,068	0,086	0,112
Азот	N_2	0,954	1,252	1,024	1,314

Так содержание метана в составе ПНГ меняется от 40,39 до 40,59 % масс., этана от 4,855 до 6,219 % масс., пропана от 17,23 до 18,19 % масс. и т.д . Таким образом, ПНГ месторождений Западной Сибири является хорошим сырьем для химического направления его переработки.

Дальнейшая переработка ПНГ, осуществляемая в несколько стадий, включая вторичные процессы, дает возможность получения ценных и полезных продуктов, таких как: полиэтилен, полипропилен, синтетические каучуки, полистирол, поливинилхлорид и множество других. [4],[5] Они в свою очередь, являются основой для производства многих других синтетических материалов, которые используются человеком сегодня и которые стали неотделимой частью нашей повседневной жизни. Такие материалы окружают нас повсюду, используются в производстве изделий из резины, упаковочные материалы, контейнеры, посуда, трубы,

материалы для медицины и т.д.[6] Спектр применения огромен и неограничен. Еще одним важным аспектом переработки ПНГ выделение сухого отбензиненного газа, являющийся аналогом природного газа, который может быть использован уже в качестве более эффективного топлива, чем ПНГ [7],[8].

К достижениям в области углубления переработки попутного газа, безусловно, следует отнести экспериментальные исследования по получению синтетических жидких топлив (СЖТ) с использованием отечественного оборудования и катализаторов, для которых раньше в основном применялся природный газ или уголь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яценко, И. Г. Статистический анализ качества трудно-извлекаемых нефтей / И. Г. Яценко, Ю. М. Полищук // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326, № 4. – С. 56–66.

2. Оздоева, А. Х. Выбор технологий полезного использования попутного нефтяного газа на основе экономических оценок [Рукопись]: дис. ... канд. эконом. наук / А. Х. Оздоева. — Москва, 2016. — 170 с.

3. Кравченко, Т. П. Ресурсоведение нефти и газа: учебное пособие / Т. П. Кравченко. — Москва: ГЕОС, 2014. — 196 с.

4. Картамышева, Е. С. Попутный нефтяной газ и проблема его утилизации / Е. С. Картамышева, Д. С. Иванченко // Молодой ученый. — 2017. — № 25. — С. 120-124.

5. Меньшов, Б. Г. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: учебное пособие для вузов / Б. Г. Меньшов, М. С. Ершов, А. Д. Яризов. – Москва : Недра, 2000. – 487 с.

6. Технологические и экономические преимущества переработки попутных нефтяных газов на нефтепромыслах в метаново-водородную газовую смесь для питания энергоустановок / М. В. Верниковская [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. — 2012. — № 11. — С. 7–12.

7. Сыркин, А. М. Основы химии и переработки нефти и газа : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 21.03.01 "Нефтегазовое дело" / А. М. Сыркин, Э. М. Мовсумзаде. - Уфа : Редакционно-издательский центр УГНТУ, 2014. - 149 с.

8. Шабалина, Ю. Н. Учение о биосфере : методические указания / Ю. Н. Шабалина. - Ухта : Изд-во Ухтинского государственного технического университета, 2015. - 19 с.

ОСНОВНЫЕ ИНГИБИТОРЫ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Дерюгина О.П., канд. техн. наук, доцент, derjuginaop@tyuiu.ru

Заречнева В.Д., бакалавр, victoria_zarechneva@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: При выделении мономеров из продуктов реакции ректификацией, при их хранении и транспортировке возможна самопроизвольная полимеризация с образованием полимеров различной молекулярной массы. Подобная полимеризация приводит к отложению полимера на стенках аппаратов и оборудования, затрудняя его использование, и понижает показатели процесса. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с нежелательной полимеризацией является применение различных ингибиторов полимеризации. Круг веществ, в качестве которых могут быть использованы ингибиторы, достаточно разнообразен и каждое предприятие, останавливая свой выбор на том или ином веществе-ингибиторе, руководствуется соображениями об эффективности и экономичности ингибирующего вещества. Тем не менее, существуют общие требования для всех ингибиторов полимеризации: они должны хорошо растворяться в углеводородах, иметь высокую эффективность ингибирования, быть дешевыми и доступными.

Ключевые слова: Ингибитор, нитрит натрия, фенолы, замедление реакции.

Ингибиторы – это вещества, замедляющие и предотвращающие течение химической реакции. Ингибирование радикальной полимеризации имеет огромное значение в химической промышленности для предотвращения нежелательной полимеризации виниловых мономеров во время обработки, хранения и транспортировки. Краткий обзор основных классов ингибиторов радикалов дает представление о богатстве выбора химических соединений, доступных для использования [1].

В качестве ингибиторов полимеризации могут использоваться различные соединения, в том числе, нитрит натрия, различные фенольные соединения. В настоящее время наблюдается частое использование в качестве ингибиторов полимеризации различных фенольных соединений. Это обусловлено комплексом важных и ценных преимуществ данных соединений, например, таких как: высокая эффективность, универсальность действия, возможность изменять свойства в широких пределах варьированием заместителей[3].

Благодаря спецификациям промышленных ингибиторов и положительным характеристикам фенольных соединений эти ингибиторы являются наиболее распространенным классом, используемым в этом процессе во многих странах. Фактически фенольные ингибиторы либо используются сами по себе, либо смешиваются с другими ингибиторами из разных химических семейств. Практически во всех процессах синтеза

винилового мономера они являются либо участником процесса, либо ингибитором упаковки[2].

Так же известно применение нитрита натрия, как ингибитора полимеризации сопряженных диенов при высоких температурах. Однако нитрит натрия обладает высокой ингибирующей способностью только в щелочных и нейтральных средах. Нередко при повышенных температурах и в присутствии некоторого количества воды происходит гидролиз диметилформамида с образованием муравьиной кислоты и диметиламина. Муравьиная кислота начинает разлагать нитрит натрия и этим снижает его ингибирующую способность[4].

Так, при получении бутадиеновых углеводородов водный раствор нитрита натрия используют для поглощения кислорода из контактного газа, для предотвращения образования полимера и перекисных соединений в процессе разделения углеводородов C_4 . Обычно концентрация ингибитора составляет 0,2-0,5 % масс от количества контактного газа.

Подводя итог всего вышесказанного, можно сказать, что с каждым годом требования промышленной переработки углеводородов увеличиваются, поэтому для качественной переработки необходимо использовать высокоэффективные средства. Уменьшение количества ингибитора полимеризации является одним из мероприятий по ресурсосбережению. Таким образом, на предприятиях нефтехимического сектора начинает работать концепция бережливого производства, которая в конечном итоге приводит к оптимизации производства. Развитие химической промышленности определяется в значительной степени совершенствованием химической техники. Техника химических производств развивается в основном в тех же направлениях, что и в других отраслях промышленности [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев, Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза : учебник для вузов / Н. Н. Лебедев. - 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1988.- 592с.

2. Кирпичников, П. А. Химия и технология мономеров для синтетических каучуков: учебник для вузов / П. А. Кирпичников. – Изд. 1. - Ленинград: Химия, 1981. - 264 с.

3. Козиенко, А. И. Основы нефтехимического синтеза: учеб. пособие / А. И. Козиенко, Т. А. Подгорбунская, Д. В. Гендин. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2007. - 60 с.

4. Razuwaev, G. A. Reactions of organometallic compounds with organic peroxides / G. A. Razuwaev // Organic Peroxides. — 1972. — V. 3. — P. 141–270.

5. Шур, А. М. Высокомолекулярные соединения: учебник для вузов / А. М. Шур. – 1 изд. – Москва : Высшая школа, 1981. - 656 с.

УДК 665

ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЭК

Дерюгина О. П., канд. техн. наук, derjuginaop@tyuiu.ru
Кемелбеков Э. К., бакалавр, esentur.kemelbekov@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: актуальность выбранной темы обусловлена тем, что на сегодняшний день вопросы ресурсосбережения привлекают все большее внимание исследователей и практических работников. Проблемы ресурсосбережения затрагивают почти все сферы деятельности человека, а в экономическом аспекте, в условиях жесткой конкуренции и планировании деятельности предприятия, направления ресурсосбережения становятся одними из главных векторов формирования и развития инновационной деятельности, которые довольно широко рассматриваются сегодня в научно-производственной отрасли.

Ключевые слова: энергосбережение, ресурсосбережение, технологические потери, нефтегазовая промышленность, попутный нефтяной газ.

Нефтегазовая отрасль занимает важное место в политике и экономике России, обеспечивает до 1/3 валового внутреннего продукта страны. Для необходимого сохранения потенциала отрасли одной из основных задач, стоящих перед государством, является модернизация компаний нефтегазового комплекса. Также модернизация коснется технической и технологической базы данных компаний, посредством внедрения новых передовых технологий и материалов [1].

Сегодня в условиях развития конкуренции на мировом рынке и истощения ресурсной базы, все более важным становится вопрос о развитии энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, и повышение энергоэффективности топливно-энергетических комплексов.

В ноябре 2009 года вступил в силу Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Данный закон направлен на решение проблем в данной отрасли. Хотя в этом законе не говорится напрямую о путях развития индустрии, но есть ряд статей, в которых запрещается использование техники и технологий с низкой энергетической эффективностью. Чаще

всего это оборудование, при создании которого не использовались новые современные материалы и технологии[3].

Так же с ресурсосбережением тесно связано борьба с сокращением потерь нефти и газа при добыче, переработке и транспортировке. Основными причинами потерь являются: использование не надежного оборудования, вследствие чего происходят разливы нефти, утечки газа. Так же происходят аварийные ситуации. Еще одной из причин потерь являются не своевременные ремонтные работы оборудования, так же не соблюдение норм и правил правильного эксплуатации оборудования в нефтегазовом промысле приводит к технологическим потерям.

Но самые большие потери вызваны сжиганием попутного нефтяного газа ПНГ. «Вопиющим фактом, примером неэффективного использования энергоресурсов остаётся сжигание попутного газа. Загрязняется окружающая среда, и десятки миллиардов рублей превращаются в дым. Правительство ещё раз недавно обратилось к этой теме и обещало покончить с этим безобразием. Действовать нужно достаточно решительно, быстро, никаких отговорок от добывающих компаний не принимать». В связи с этим, запланирован целый ряд мероприятий, направленных на сокращение потерь ПНГ таких как: увеличение мощностей действующих ГПЗ, строительство сети малотоннажных перерабатывающих установок на месторождениях, энергетических комплексов работающих на ПНГ, так же создание систем сбора, транспортировки и утилизации ПНГ. Испытание и создание мобильных установок конверсии ПНГ в моторные топлива. Из нефти, газа и конденсата вблизи промыслов совершенствование извлечения полезных компонентов таких как: серы, фракций C_2-C_5 , гелия. На месторождениях - природного битума, разработка технологий добычи ценных металлов [2].

К другим источникам потерь при промышленной подготовке сырья, следует отнести недостаточно полное извлечение ценных компонентов из углеводородного сырья месторождений сложного состава, в т. ч., серы, инертных газов, редких металлов. Также потери происходят из-за утечки и выбросов УВ из промысловых трубопроводов, в т. ч. по причине коррозии и физического износа оборудования. Потери газа на УКПГ, особенно устаревших образцах, потери при переработке УВ-сырья на ГПЗ, несоответствие физико-химических характеристик сырья оптимальным параметрам технологического процесса, испарение сырья и полуфабриката из резервуаров, утечки, разливы и аварии как следствие чрезвычайных ситуаций на НПЗ, неоптимальные режимы работы технологических установок – это также различные виды потерь [2].

Еще одна глобальная задача, по мнению специалистов, работающих в данной отрасли, это управление энерго-и ресурсосбережением. Нужно создать Центр управления ресурсами в режиме реального времени в рамках активной цифровой модели национальной экономики.

Так же на базе действующих технологий учета нужно создавать специализированные Центры управления ресурсами. В рамках создания глобальной системы управления ресурсами в стране, возможно планирование ресурсосбережения при формировании региональных, местных и отраслевых центров управления до 2020 г. В результате, к 2030 году, на их основе будет создана единая система управления ресурсами Федерального масштаба.

В основные направления ресурсосбережения в нефтегазовом комплексе необходимо включить энергетическую эффективность оборудования, устройств и помещений, включая те, что используются по всей технологической цепочке отраслей – это сформирует необходимый импульс к модернизации всего производства в нефтегазовом комплексе, нефтехимических предприятий и ТЭК в целом.

В настоящее время, в связи с переходом крупнейших газовых месторождений Западной Сибири в стадию падающей добычи проблема энергетической эффективности газотранспортной системы является достаточно актуальной.

Компримирование нефтяного газа на компрессорных станциях является энергоемким процессом. Снижение затрат должно быть направлено на повышение эффективности работы компрессорных установок. Одним из таких мероприятий является оптимизация режимов работы компрессоров, которая заключается в определении оптимальных технологических параметров работы оборудования: давления, температуры и объемного расхода. Задача подбора этих технологических параметров достаточно сложная.

Поэтому важной составляющей эффективного ресурсосбережения является совместная работа фундаментальных и прикладных научно-исследовательских школ с разработчиками и производителями отечественного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриевский, А. Н. Ресурсосбережение: основные задачи и направления ресурсосбережения в нефтяной и газовой промышленности / А. Н. Дмитриевский // Вестник ОНЗ РАН. – 2010. - № 2. – С. 10-13.

2. Книжников, А. Ю. Проблемы и перспективы использования нефтяного попутного газа в России / А. Ю. Книжников. – Москва : Лань, 2010. - 40 с.

3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 25.12.2012, с изм. от 05.04.2013) (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.01.2013). – 45 с.

3. Исследования и разработки, обеспечивающие создание конкурентоспособных полимерных композиционных материалов на основе углеродного волокна [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.composit.su/f/news/97/641361/632226.pdf>.

УДК 661.715.4/.7

АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОПРОПИЛБЕНЗОЛА АЛКИЛИРОВАНИЕМ

Ишматова И.Ф. магистрант, ilyuza95@bk.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет.

Аннотация. Широкое применение изопропилбензола в промышленности обуславливает необходимость повышения производительности существующих установок с минимумом затрат. Предлагается реконструкция установки алкилирования бензола пропиленом путем перехода на катализаторы на основе пилларированных глин. В качестве реактора предлагается секционированный адиабатический аппарат с неподвижным слоем пиллар-глин. Данный метод позволит сократить расход катализатора, упростить технологическую схему, исключить коррозию аппаратуры и повысить качество получаемого изопропилбензола.

Ключевые слова: анализ, установка алкилирования бензола пропиленом, изопропилбензол, пиллар-глины.

Растущая потребность в синтетических каучуках, ПАВ, пластмассах, синтетических волокнах влечет за собой активный рост производства алкилароматических углеводородов. В связи с этим, процесс каталитического алкилирования бензола пропиленом является одним из основных процессов в нефтехимии.

В промышленности изопропилбензол получают в результате взаимодействия бензола с пропиленом в присутствии жидкого катализаторного комплекса на основе хлорида алюминия. Данный катализатор отличается наибольшей активностью из всех доступных апротонных кислот [1].

Применяемые жидкие каталитические системы дезактивируются из-за загрязнения высокомолекулярными продуктами алкилирования, вызывают коррозию аппаратуры и образуют большое количество сточных вод, которые отрицательно влияют на экологию [2].

Предлагается технология, предусматривающая проведение процесса алкилирования в алкилаторе и переалкилаторе с использованием твердого катализатора на основе пилларированных глин.

В последнее время значительное внимание уделяется созданию новых экологически безопасных гибридных и нанокompозитных материалов на основе различных слоистых алюмосиликатных систем (САС). Интеркалированные САС представляют большой интерес для синтеза сорбентов и носителей катализаторов, проводников, оптических и фотоактивных материалов, ионообменников, электродов и мембран. Среди них особенное место занимают пилларированные (или столбчатые) материалы, обладающие уникальными текстурными и физико-химическими свойствами, такими как: развитая удельная поверхность, регулярное распределение микро- и мезопор, термическая стабильность и наличие активных центров различной природы.

Получают столбчатые глины путем обмена катионов щелочных и щелочно-земельных металлов, находящихся в межслоевом пространстве природной глины, на неорганические полиядерные гидрооксокатионы. При последующей термообработке в результате дегидратирования и дегидроксилирования внедренных полигидрооксокатионов образуются металлоксидные кластеры, прочно связанные с алюмосиликатными слоями глины кислородными мостиками. Такие кластеры, называемые столбцами, находясь между слоями глины, препятствуют их сближению, в результате чего образуется пористая двухмерная структура, в которой межслоевое расстояние может достигать 2 нм. Образование полигидрооксокатиона в пилларирующем растворе определяется в значительной степени природой гидролизующего агента, а также концентрацией растворов, температурой и продолжительностью гидролиза, что в свою очередь влияет на формирование пористой структуры глины. Известны слоистые алюмосиликаты со столбцами из оксидов алюминия, железа, меди, циркония, церия, титана, марганца. Помимо глин, содержащих оксиды одного металла, существуют глины, содержащие оксиды нескольких металлов. В литературе имеются сведения по пилларированию как природных алюмосиликатов (бентонитовых глин, состоящих, в основном, из минерала монтмориллонита, сапонита, вермикулита), так и синтетических алюмосиликатов (монтмориллонит и бейделлит)[3].

Предлагается реконструкция процесса алкилирования бензола пропиленом с переходом на пиллар-глины. Преимуществом процесса, по сравнению с процессами, где используются катализаторы на основе фосфорной кислоты или $AlCl_3$, являются экологическая безвредность, уменьшение коррозии, а также большая чистота кумола.

Процесс получения изопропилбензола на пиллар-глинах складывается из следующих стадий:

- выделение добензольной фракции;
- алкилирование бензола пропиленом;
- выделение возвратного бензола из реакционной массы алкилирования;

- выделение фракции моноалкилбензолов;
- выделение этилбензольной фракции;
- разделение полиалкилбензолов и смолы алкилирования;
- переалкилирование диизопропилбензола;
- выделение товарного изопропилбензола;
- выделение фракции бутилбензола.

Основными параметрами, которые определяют работу реактора на пиллар-глинах, являются соотношение бензола и пропилена, температура и время контакта. Отличительной особенностью пиллар-глин является необходимость поддержания в зоне реакции высокого отношения бензола к пропилену [4]. Избыток бензола необходим для благоприятных условий десорбции продуктов реакции с поверхности катализатора, что способствует снижению образования полиалкилбензолов, степени коксуетости катализатора и увеличению времени работы без регенерации.

В качестве реактора для процесса алкилирования предложен секционированный адиабатический аппарат с неподвижным слоем пиллар-глин. Охлаждение сырьевыми потоками продуктов реакции между секциями дает возможность выравнивания профиля температур по высоте реактора.

Смесь свежего и возвратного бензола поступает в реактор алкилирования сверху и проходит все слои катализатора. Поток свежего пропиленового сырья делится между слоями катализатора и полностью используется в каждом слое

Поскольку реакция протекает с выделением тепла, то повышение температуры в реакторе алкилирования регулируется путем подачи холодного пропилена между секциями реактора для съема тепла. Кроме того, температура на входе в каждый последующий слой снижается до той же температуры, как и в первом слое, путем подачи пропан-пропиленовой фракции с температурой 30°C в пространство между слоями. Алкилирование бензола пропиленом ведется при внешнем мольном соотношении бензола к пропилену равном 4:1.

Из продуктов алкилирования в системе разделения ректификацией выделяется полиалкилбензольная фракция и поступает в переалкилатор, в котором образуется дополнительное количество кумола реакцией диизопропилбензола с бензолом на втором катализаторе, которыми являются пиллар-глины.

Переалкилирование осуществляют при температуре 250°C, давлении 3,5 ат, мольном соотношении бензол: диизопропилбензол 6:1. Степень конверсии диизопропилбензола при этом достигает 50% .

Метод получения изопропилбензола алкилированием бензола пропиленом в секционированном адиабатическом реакторе на пиллар-глинах имеет следующие преимущества:

- 1) Расход катализатора на одну тонну изопрропилбензола по сравнению с хлоридом алюминия уменьшается более чем в 100 раз, что снижает экономические затраты;
- 2) Значительно упрощается технологическая схема, т.е. нет необходимости в подготовке катализаторного комплекса, осушки бензола очистки и нейтрализации продуктов реакции и абгазов. При проведении процесса на пиллар-глинах предъявляются менее жесткие требования к содержанию воды в бензоле, чем при осуществлении процесса на $AlCl_3$, в котором небольшой избыток воды приводит к разложению катализаторного комплекса;
- 3) Снижение количества используемого водяного пара и оборотной воды за счет упрощения технологической схемы;
- 4) Исключение коррозии аппаратуры;
- 5) Облегчение отделения продуктов реакции, не требующих дополнительной очистки, которая в гомогенном катализе приводит к образованию стойких эмульсий и больших объемов сточных вод;
- 6) Пиллар-глины можно регенерировать и использовать многократно;
- 7) Повышается качество товарной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поконова, Ю. В. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Часть 1: справочник / Ю. В. Поконова, В. И. Стархов. – Санкт-Петербург : Проффессионал, 2002. – 988 с.
2. Юкельсон, И. И. Технология основного органического синтеза: учебник / И. И. Юкельсон. – Москва: Химия, 1968. – 423 с.
3. Олбрайт, Р. Ф. Алкилирование. Исследование и промышленное оформление процесса / Р. Ф. Олбрайт. – Ленинград: Химия, 1982. – 336 с.
4. Pillared clays and related catalysts / A. Gil [oth.] – Нью-Йорк : Springer, 2014. – 508 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УСТАНОВОК ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Казанцева А. М., бакалавр, al.kazantzeva@gmail.com

Савченков А. Л., канд. техн. наук, доцент, savchenkoval@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: Проблема оптимизации работающих производств и уменьшения затрат при подготовке нефти очень актуальна на сегодняшний день, так как каждое предприятие нацелено на увеличение прибыли и снижение эксплуатационных затрат. В данной статье рассмотрены технологические процессы, происходящие при подготовке нефти, а также предложены способы снижения эксплуатационных затрат на установках подготовки нефти и варианты оптимизации процесса. Оптимизация процесса многовариантна и подбирается индивидуально для каждой отдельной установки.

Ключевые слова: пластовая жидкость, подготовка нефти, товарная нефть.

При добыче нефти из нефтяных скважин, добывается не чистый товарный продукт, а пластовая жидкость, которая содержит в себе большое количество воды, а также растворенные в нефти газы и твёрдые механические примеси: песок, цемент, горные породы, глина, окалина. Нефть с водой образуют высоковязкую устойчивую эмульсию с плотностью большей, чем плотность товарной нефти. Магистральные трубопроводы не предназначены для транспортировки необработанных водонефтяных эмульсий, поэтому вблизи месторождений нефти на промыслах используют установки подготовки нефти (УПН), спроектированные с учетом физико-химических свойств поступающей на установку водонефтяной эмульсии, дебита нефтяных скважин и требований к качеству товарной нефти [1].

Первичная подготовка нефти на УПН включает в себя следующие технологические процессы:

1) дегазацию - отделение лёгких газообразных углеводородов от нефти;

2) обезвоживание - разрушение водонефтяной эмульсии, путем нагрева и добавления деэмульгаторов;

3) обессоливание - удаление солей за счёт добавления пресной воды и повторного обезвоживания;

4) стабилизацию - удаление легких углеводородов с целью уменьшения потерь нефти при её дальнейшей транспортировке.

Добываемая из скважин эмульсия поступает на автоматизированные замерные установки (АЗУ), а затем на дожимные насосные станции (ДНС), где проходит первая ступень сепарации. Частично дегазированная нефтяная эмульсия поступает на УПН, где последовательно

осуществляется процесс сепарации в несколько ступеней. Газ стабилизации частично используется на собственные нужды, либо сжигается на факелах, либо направляется на газоперерабатывающие заводы. Вода со всех ступеней сепарации направляется на поддержание пластового давления.

Реконструкция и оптимизация работы УПН может происходить множество раз на одном нефтяном промысле. Разработка особенно больших залежей нефти может производиться десятками лет, и в ходе разработки возможно изменение дебита скважин и обводнённости добываемой нефти.

Вариантами снижения эксплуатационных затрат могут быть:

- демонтаж оборудования, не участвующего в технологическом процессе в настоящее время, и на перспективу, с учётом сведений по планируемой загрузке на ближайшие пять лет;

- снижение энергоёмкости оборудования путем замены насосов.

Вариантами оптимизации УПН могут быть:

- перераспределение потоков пластовой продукции со скважин по объектам подготовки нефти и газа;

- использование более качественного деэмульгатора при разделении эмульсии;

- монтаж дополнительного технологического оборудования.

Некачественная подготовка нефти может привести к большим затратам при транспортировке товарного продукта. Поэтому предприятия стремятся подготавливать нефть, получая продукцию необходимого качества, а также оптимизировать технологию подготовки нефти, внедряя новое оборудование, либо, наоборот, демонтируя нерационально используемое старое оборудование. Не существует единого универсального подхода для оптимизации работы установок подготовки нефти, так как все они спроектированы индивидуально, в зависимости от местонахождения нефтяного промысла и добываемой пластовой жидкости [2]. Многие месторождения находятся в эксплуатации по несколько десятков лет, поэтому оптимизировать процесс и внедрять новые технологии следует не только опираясь на текущие показатели, но и с расчётом на будущее изменение состава добываемой пластовой жидкости и дебита нефтяных скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муллаев, Б. Т. Проектирование и оптимизация технологических процессов в добыче нефти / Б. Т. Муллаев. – Москва: Мультимедийное издательство Стрельбицкого, 2018. – 426 с.

2. Тугов, В. В. Оптимальное управление готовностью системы сбора и подготовки нефти к использованию / В. В. Тугов, А. М. Пищухин, А. В. Трибунский // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 3. – С. 3-5.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НЕФТЯНЫХ ПАРАФИНОВ

Кирьянова Т.А., магистрант, tanya.alex00@list.ru
Байда А.А., канд. техн. наук, доцент, bajdaaa@tyuiu.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Изучены физико-химических свойства парафинов методом диэлектрической спектроскопии, с целью выявления возможности их использования в качестве сырья для получения термоактивных восков. Показано, что диэлектрическая спектроскопия парафинов позволяет определять рабочий диапазон регулирования термоактивных восков для датчиков температуры.

Ключевые слова: парафины, диэлектрическая спектроскопия, датчики температуры.

Западная Сибирь занимает лидирующие позиции по добыче нефти в России. Продолжительное закачивание воды при добыче нефти приводит к значительному изменению состава сырья, происходит повышение содержания высокомолекулярных и окислительных соединений, а пластовая температура достигает предельных значений для возможных фазовых переходов. Свойство нефти как дисперсной системы в значительной мере определяются образованием надмолекулярных структур и их характеристик (геометрия, стабильность, ассоциативность и др.), которые влияют на процессы, протекающие при добыче, транспортировки и переработки нефти. По современным данным нефтяные дисперсные системы (НДС) имеют вид коллоидной системы, дисперсная фаза которых состоит из ассоциатов смолисто-асфальтеновых компонентов, где ядром выступают асфальтены, а структура сольватной оболочки, в соответствии с полярностью, показана различными фракциями смол.

Из числа ограниченного количества физико-химических способов исследования структуры НДС результативным считается способ диэлектрической спектроскопии, позволяющий исследовать изменения ориентации дипольных моментов компонентов нефти в широком диапазоне частот и с достаточной точностью определяющие их свойства, состав и структур. Обработка частотных зависимостей электрофизических параметров позволит получить развернутый анализ, отражающий связь структурно-группового состава веществ с его электрофизическими параметрами [4,5].

Изучения диэлектрических свойств жидких систем помогают приобрести широкий спектр данных об их структуре и взаимодействии молекул, кинетике и механизме в молекулярных процессах. Разрешение

данных вопросов способствует представлению и управлению химико-технологическими процессами, большая часть которых протекает в жидких фазах. При воздействии внешнего электрического поля на диэлектрический материал, диполи в материале выравниваются к электромагнитному полю в процессе, называемом диэлектрической релаксацией. Релаксация диполей характеризуется временем релаксации. Диполи, которые могут легко поляризоваться, например, диполь жидкости, имеет короткое время релаксации и, следовательно, находится в диапазоне высоких частот спектра. Более медленные релаксационные процессы, такие как дипольная релаксация в твердых телах, находятся в нижних областях частот [3].

Товарные парафины и церезины, получаемые из нефти, относятся к твердым углеводородам. Данные вещества широко используются в медицине, в пищевой, химической, радио-технологических промышленности. В настоящее время номенклатура нефтяных парафинов сокращен до 3-5 наименований, при этом производство восков для датчиков температуры и вовсе отсутствует. Воски для датчиков температуры относятся к малотоннажным производствам. Тем не менее, потребность в этих восках достаточно высока и альтернативы воскам в системах охлаждения радиоэлектронной аппаратуры не существует. Поэтому разработка восков для систем охлаждения на основе существующего органического парафинового сырья является актуальной задачей [2].

Работа посвящена изучению диэлектрической спектроскопии некоторых парафинов с целью выявления возможности их использования в качестве сырья для получения термоактивных восков. Были исследуемы следующие парафины такие как: пищевые П-2я, П-2н и технические Т-2я и Т-2у.

Анализ разных образцов парафинов и проводился методом диэлектрической спектроскопии по методике [2], которая заключается в измерении электрической емкости C_p и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ исследуемых продуктов в зависимости от частоты внешнего электрического поля f (0,025; 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10; 50; 100; 500; 1000 кГц) при заданной температуре (от 25 до минус 70°C с интервалом 5°C) [1].

В качестве примера при частоте 1 кГц на рис. 1 представлены зависимости $\epsilon(t)$. Зависимости ϵ от $f(t)$ представляют собой экстремальный характер. С понижением температуры диэлектрическая проницаемость парафинов возрастает.

Характер изменения зависимости $tg\delta(t)$ (данные не приводятся) для всех исследуемых парафинов аналогичен. В области фазовых переходов парафинов обнаружены максимумы диэлектрических потерь $tg\delta_{max}$, свидетельствующие о процессах диэлектрической релаксации.

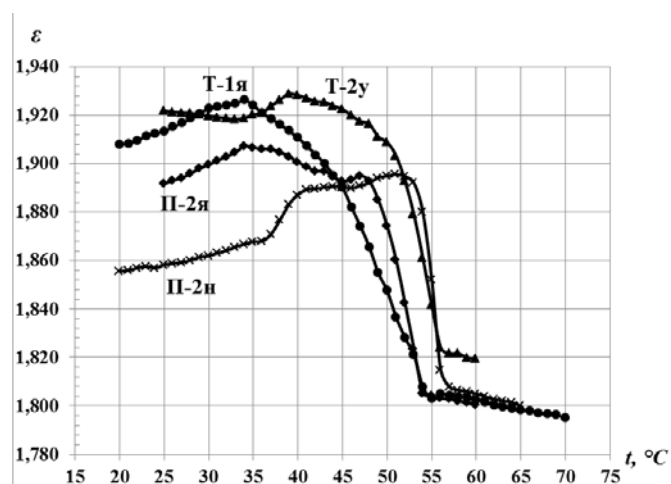


Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости ϵ на частоте 1 кГц от температуры t для твердых парафинов П-2я; П-2н; Т-1я; Т-2у

Таким образом, знание диэлектрических свойств позволяет изучать ряд радиотехнических систем, получить данные о молекулярной структуре парафинов и межмолекулярных взаимодействиях. Возможности современных технологий позволило автоматизировать, усовершенствовать и повысить точность полученных данных. Методы анализа различных парафинов и контроль химического состава решают множество практических проблем промышленности и технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаев, С. Г. Температурно-диэлектрическая спектроскопия масляных углеводородов из смеси нефтей Западной Сибири / С. Г. Агаев // Нефть и газ. - 1990. - № 6. - С. 51 - 55.
2. Байда, А. А. Диэлектрическая спектроскопия аминспиртов и полиэтиленполиаминов / А. А. Байда // Журнал физической химии. - 2013. - Т. 87, № 2. - С. 243-247.
3. Гусев, Ю. А. Основы диэлектрической спектроскопии / Ю. А. Гусев. - Казань, 2008. - 124 с.
4. Лустина, А. А. Разработка компактного прибора контроля диагностики состояния трансформаторного и автомобильного масел / А. А. Лустина, Т. А. Аюпов // Новое знание: материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. - Казань, 2015. - С. 96 - 98.
5. Сараев, Д. В. Диэлектрическая спектроскопия в исследовании структурной организации нефтяных дисперсных систем / Д. В. Сараев, И. В. Лунёв, Т. Н. Юсупова // Нефтегазовое дело. - 2005. - № 5. - С. 6 -12.

ПРОИЗВОДСТВО ИГОЛЬЧАТОГО КОКСА

Колесниченко С.В., бакалавр, kolesnichenko.1997@list.ru
 Савченков А.Л., канд. техн. наук, доцент, savchenkoval@tyuiu.ru
 г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В работе рассмотрены параметры производства игольчатого кокса. В статье рассмотрены основные показатели качества игольчатого кокса, параметры процесса замедленного коксования. На основе проводимых исследований был сделан вывод о том, что для производства игольчатого кокса необходимо сырьё с повышенным содержанием ароматических углеводородов.

Ключевые слова: кокс, коэффициент теплового расширения, ароматические углеводороды

Игольчатый кокс – важнейший материал в производстве графитовых электродов, который в настоящее время получают на установках замедленного коксования. На данный момент в отечественной нефтепереработке производство игольчатого кокса только набирает обороты, в то время как в странах Запада эта технология успешно себя зарекомендовала.

Требования к качеству игольчатого кокса очень высоки [1]. Основные показатели приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Показатели качества игольчатого кокса

Марка кокса	Ультра-премиум	Супер-премиум	Премиум
Коэффициент термического расширения, $10^{-6} / ^\circ\text{C}$	0,25	0,35	0,6
Содержание серы, % масс.	-	0,2...0,4	0,4...0,6
Содержание металлоганических соединений, мг/кг	-	<10	<10
Плотность, г/см ³	-	2,13...2,15	2,13...2,14
Содержание водорода, % масс.	-	0,03...0,05	0,03...0,05

Выбор сырья и параметры процесса замедленного коксования являются ключевыми аспектами в производстве целевого продукта. Одним из основных показателей качества игольчатого кокса является коэффициент теплового расширения [2].

Коэффициент теплового расширения (КТР) – физическая величина, характеризующая относительное изменение объема или линейных

размеров тела с увеличением температуры на 1К при постоянном давлении [3].

Замедленное коксование – процесс получения кокса из смеси высокомолекулярных ароматических соединений. Рис. 1 показывает, что ароматические углеводороды играют важную роль в формировании кокса. Помимо ароматических углеводородов, другие соединения, такие как асфальтены, смолы, сера, кислород, азот и прочие примеси влияют на качество игольчатого кокса. Смолисто-асфальтеновые соединения в составе сырья нежелательны, поскольку в их структуре находятся гетероатомы, которые затрудняют процесс коксообразования.

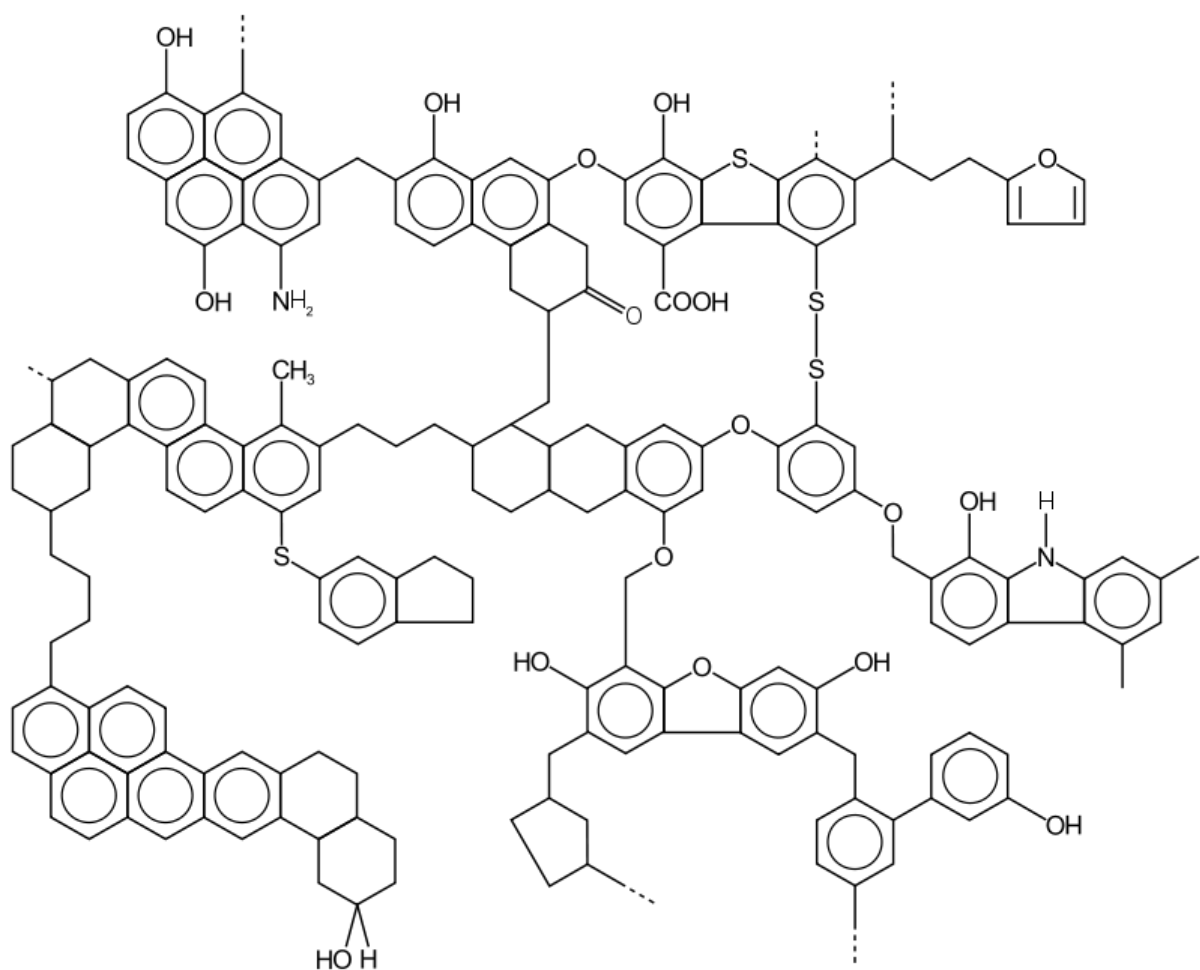


Рис.1. Структура нефтяной смолы

Следовательно, для получения игольчатого кокса лучше использовать сырьё с повышенным содержанием ароматических углеводородов:

- 1) крекинг-остаток;
- 2) остатки переработки смазочных масел;
- 3) смола пиролиза.

Различные виды сырья по своему химическому составу индивидуальны, поэтому чтобы получить игольчатый кокс высокого качества, необходимо точно подбирать параметры процесса - температуру и давление.

На основе проведённых исследований в работе [3] пришли к выводу, что наиболее оптимальный температурный интервал процесса получения игольчатого кокса является 460...480°C (см. Рис.3), поскольку именно при этих температурах достигаются минимальные значения коэффициента теплового расширения.

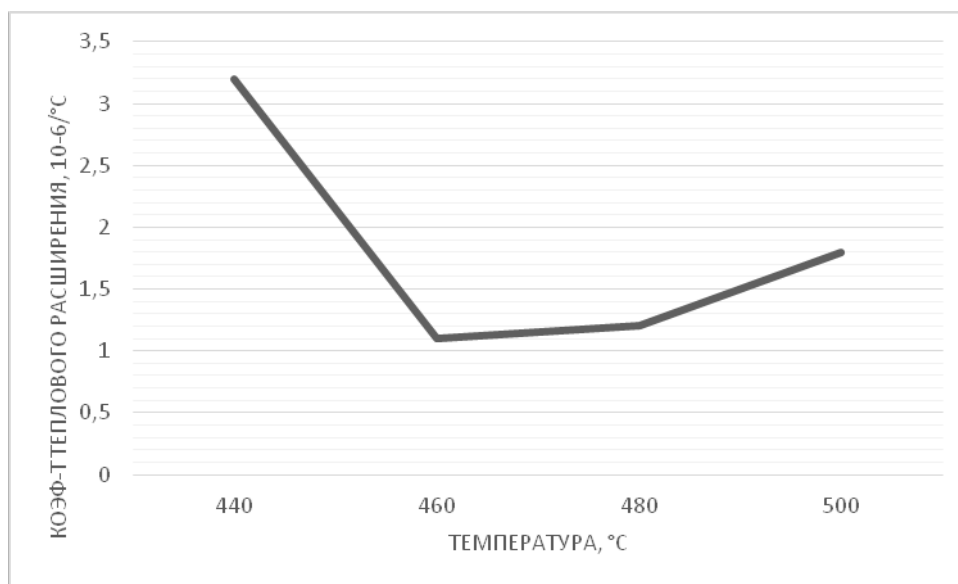


Рис. 3. Зависимость КТР от температуры процесса коксования

Давление, как и температура, также подбирается с учетом химического состава сырья. Низкое давление способствует повышению значения коэффициента теплового расширения, что не благоприятствует получению игольчатого кокса высокого качества. На основе проведённых исследований сделан вывод, что высокое давление в системе оказывает благоприятные условия для создания качественного продукта [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Predel, H. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / H. Predel. - Weinheim, 2006. - 361 p.
2. Коэффициент теплового расширения [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент теплового расширения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_теплового_расширения).
3. Optimization of carbonization conditions for needle coke production from a low-sulfur petroleum vacuum residue/ I. Mochida [oth.] // Carbon Letters. – 2013. - № 3. - P. 152-161.

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА УСТАНОВКАХ ПИРОЛИЗА ЭТАНА

Кошечева А.А., магистрант, alinaalexandrovna@mail.ru

Таранова Л.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ПНГ, taranovalv@list.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Пиролиз как процесс производства низших олефинов (этилен, пропилен), - наиболее энергоемкий процесс в химической промышленности. Повышение энергоэффективности таких ресурсозатратных технологических процессов является весьма актуальным вопросом, решение которого несет экологические и экономические перспективы. В данной работе рассматриваются основные направления, применяемые для решения вопросов энергосбережения в технологии пиролиза низших олефинов. Ключевым и наиболее перспективным из таких направлений является разработка и внедрение в схему пиролиза системы комплексной утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР). Применение данной системы позволит извлечь в процессе дополнительное количество энергоресурсов и повысить энергоэффективность процесса пиролиза этана.

Ключевые слова: энергоэффективность, пиролиз, вторичные энергоресурсы.

Нефтехимическая отрасль промышленности представляет собой совокупность процессов, целевым направлением которых является переработка углеводородного сырья. Ключевым и одним из самых энергоемких процессов переработки нефтяного и газового сырья является процесс пиролиза. Данный процесс очень ценен как источник низших олефинов, которые в свою очередь являются незаменимым сырьем для всего нефтехимического синтеза. На осуществление рассматриваемого процесса приходится около 8% [1] от общего потребления энергоресурсов в секторе нефтехимии.

Все чаще приходится наблюдать тенденцию повышения спроса на этилен и пропилен в рамках современного мирового рынка. Это связано, в первую очередь с тем, что эти олефины применяются в качестве базисных компонентов для получения пластмасс, волокон и другой продукции нефтехимии. И вместе с этим прогрессирует рост темпов потребления различных энергоресурсов при проведении пиролиза этана таких, как углеводородное топливо, энергия электричества, а также тепла. В следствие этого все острее становится проблема необходимости повышения энергоэффективности использования топлива и других энергоресурсов.

Также следует обратить внимание на экологический аспект осуществления процесса пиролиза, так как при производстве низших олефинов в настоящее время выделяется примерно 180 – 200 миллионов

тонн выбросов углекислого газа (CO₂) в мире [2]. Этот факт является большим минусом с точки зрения экологии.

В современной нефтехимии наиболее освоенным и обширно применяемым технологическим методом является осуществление процесса пиролиза в трубчатых печах. В современной промышленности основные силы на развитие данной технологии в большей мере направляются на модернизацию уже существующих методов проведения процесса. Зачастую к ним относят снижение коксообразования на внутренней стороне трубчатки, тепловая изоляция печей, искусственная турбулизация сырьевых потоков и модернизация аппаратного оформления процесса. Но и в данный момент потенциал рассматриваемого процесса весьма ограничен, в первую очередь, это относится к выбору сырьевой базы. Сырье не должно приводить к интенсивному образованию кокса на стенках аппаратов. И это учитывая прогресс, который связан с различными модернизациями элементов конструкции змеевика и зоны конвекции печей для проведения пиролиза, внедрением модернизированных закалочно-испарительных аппаратов (ЗИА) в технологию производства.

В нефтехимии наших дней все чаще стали рассматривать процесс создания системы комплексной утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР) как наиболее перспективный путь повышения энергоэффективности процесса терморазложения углеводородного сырья. Эта идея стала актуальной, так как для получения этилена характерно значительное образование как высоко-, так и низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.

Существуют различные вариации организации систем утилизации ВЭР. К вторичным энергоресурсам можно отнести тепло отходящих газов, которые выходят из печей пиролиза, тепловая энергия продуктов протекающего разложения сырья (пирогаз, пары продуктов реакции, выходящих с концентрационной части колонн), тепловая энергия конденсата и отводимое тепло систем принудительного охлаждения, метано-водородную фракцию (МВФ). Причем метано-водородную фракцию возможно использовать как топливный элемент в печах пиролиза.

Наиболее остро стоит проблема потери теплоэнергии вместе с уходящими из промышленных печей газами пиролиза, но её возможно разрешить путем применения теплоты отходящих газов в теплоиспользующих установках, в которых подогревается циркулирующая вода и другие технологические потоки, также возможно применение паровых котлов-утилизаторов и газотурбинных установок. Производимый в котлах-утилизаторах пар возможно применить в качестве разбавления сырья или для получения электроэнергии на газотурбинных установках, а

также нагреть рабочие потоки процесса или получить пара низкого давления.

Применение в процессе абсорбционных трансформаторов тепла позволит утилизировать тепловую энергию дымовых газов. Так же доступна выработка холода необходимых технологических параметров с целью применения на стадии отделения тяжелых углеводородов от пирогаза из смеси продуктовых газов.

Утилизировать тепловую энергии паров с верха колонн возможно для подогрева кубовой жидкости с помощью кипятильников. Тепло циркуляционной воды можно использовать для нагрева технологических потоков или в качестве горячего водоснабжения или отопления. Конденсат пара как ВЭР возможно применить для выработки холода в абсорбционных холодильных машинах, подогрева рабочих потоков или сырья, а также использовать на нужды отопления, горячего водоснабжения.

Таким образом, при проведении системного анализа теплотехнологической схемы установки пиролиза и изучении структуры внутренних и внешних связей схемы могут быть получены данные, при помощи которых можно будет выявить, энергетический потенциал основных технологических потоков, и как их можно применить в рассматриваемой технологической схеме. Особо ценными источниками энергии являются потоки конденсата пара, водяного пара, отходящих газов печей пиролиза.

В данной работе была проведена оценка потребления энергоресурсов в процессе производства олефинов, выявлены элементы, в которых происходят значительные потери тепла на установках пиролиза низших олефинов. Главным образом, это трубчатые печи пиролиза, также существенные потери тепловой энергии происходят в подогревателях сырья и топлива, скрубберах.

В заключение можно отметить, что комплексная утилизация выявленных резервов энерго- и ресурсосбережения позволит получить дополнительный резерв энергетических ресурсов, применение которых, в свою очередь, повысит энергоэффективность и ресурсосберегаемость в теплотехнологической схеме производства этилена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брендан, П. Ш. Оптимизация энергозатрат технологических процессов / П. Ш. Брендан // Территория Нефтегаз. – 2009. – № 8. – С. 80 – 84.
2. Феофанов, Д. И. Современные подходы к оценке эффектов от внедрения энергосберегающих технологий в различных секторах

экономики / Д. И. Феофанов // Российское предпринимательство – 2010. – № 9. – С. 34–38.

3. Магарил, Е. Р. Совершенствование процесса пиролиза / Е.Р. Магарил // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 5. – С. 113-117.

УДК 66.097

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СЕЛЕКТИВНОСТЬ РЕАКЦИИ РИФОРМИНГА

Лукманов Р. Р.¹, бакалавр, strong.lukmanov@bk.ru

Гуров Ю. П.², канд. техн. наук, доцент кафедры переработки нефти и газа, gurovjp@tyuiu.ru

¹Г. Тюмень, АО «АНПЗ»

²Г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В течение многих лет деятельность нефтеперерабатывающих заводов во всем мире опиралась на процесс каталитического риформинга. Первоначально этот процесс был предназначен для повышения качества низкооктановой прямогонной нефти и получения высокооктановых компонентов моторного топлива путем каталитической активации некоторых видов химических реакций. Продукты с температурой кипения в пределах кипения нефти, полученные в результате других процессов (термического крекинга, коксования и др.), вскоре также стали включать в сырье установок каталитического риформинга для повышения октанового числа. В течение многих лет деятельность нефтеперерабатывающих заводов во всем мире опиралась на процесс каталитического риформинга. Первоначально этот процесс был предназначен для повышения качества низкооктановой прямогонной нефти и получения высокооктановых компонентов моторного топлива путем каталитической активации некоторых видов химических реакций. Продукты с температурой кипения в пределах кипения нефти, полученные в результате других процессов (термического крекинга, коксования и др.), вскоре также стали включать в сырье установок каталитического риформинга для повышения октанового числа [1]. Правильное протекание реакций процесса является необходимым условием в работе установки. Целью данной работы было изучение влияния регулируемых параметров (температура, давление) на селективность реакций. В процессе изучения было выявлено, что чем ниже давление и выше температура, тем выше селективность реакций.

Ключевые слова: реакции, углеводороды, селективность.

В продолжение исследований условий равновесия на пилотной установке с использованием чистых компонентов подробно изучено влияние давления и температуры на селективность превращения в

ароматические вещества н-гексана, метилциклопентана и н-гептана. Реакции превращения этих углеводородов отличаются низкой селективностью, и поэтому оптимизация условий работы с целью максимизации селективности является ключевым моментом повышения выходов ароматических углеводородов.

График влияния режима работы установки на селективность превращения н-гексана в бензол представлен на Рис. 1. Как видно из этого рисунка, селективность к бензолу определяется как мольное отношение количества гексана, превращенного в бензол, к общему количеству превращенного гексана, (конверсия определялась по уменьшению общего количества гексана, поэтому изогексаны, содержащиеся в продукте, рассматривались как непревращенный нормальный гексан). Таким образом, это мольное отношение, по существу, определяет степень дегидроциклизации гексана. Как показано на Рис. 1, селективность превращения н-гексана в бензол увеличивается с ростом температуры при заданном давлении. Это происходит в результате смещения равновесия в сторону реакции дегидроциклизации при повышении температуры. Повышение селективности при уменьшении давления связано с сочетанием эффектов улучшения равновесного соотношения и подавления реакции гидрокрекинга.

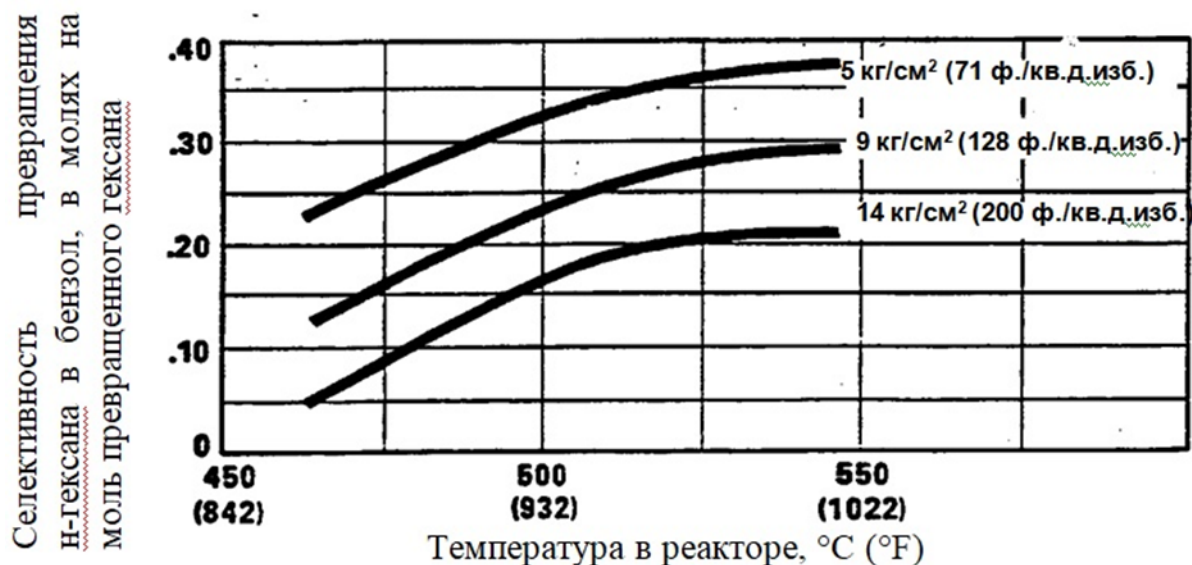


Рис. 1. Селективность превращения н-гексана в бензол.

При температуре в реакторе 538°C снижение давления в системе с 14 кг/см² до 9 кг/см² приводит к увеличению селективности конверсии н-гексана в бензол на 33%, тогда как дальнейшее снижение давления до 5 кг/см² повышает селективность на 70% в сравнении с селективностью при давлении 14 кг/см². Выходы бензола из исходного гексана могут быть значительно увеличены в условиях высокой температуры и низких давлений. Однако, при этих условиях очень высока скорость

коксаобразования, и главной проблемой становится стабильность катализатора [2].

Влияние технологических условий на селективность реакции превращения метилциклопентана в бензол представлено на Рис. 2. В случае метилциклопентана сохраняются те же тенденции улучшения селективности с ростом температуры и снижением давления, что и при конверсии н-гексана. Однако, при сопоставимых условиях селективность реакции превращения метилциклопентана в два-три раза выше, чем селективность соответствующей реакции превращения гексана. Наилучшая селективность (около 70%) была достигнута при давлении 7 кг/см² и температуре в реакторе 538°C. При увеличении давления до 21 кг/см², при котором в настоящее время работают многие установки Платформинга со стационарным слоем катализатора, предназначенные для получения бензола, толуола и ксилолов, происходит снижение селективности до ~50%. Таким образом, при снижении давления в системе достигается 40%-ное увеличение селективности реакции превращения метилциклопентана в бензол.

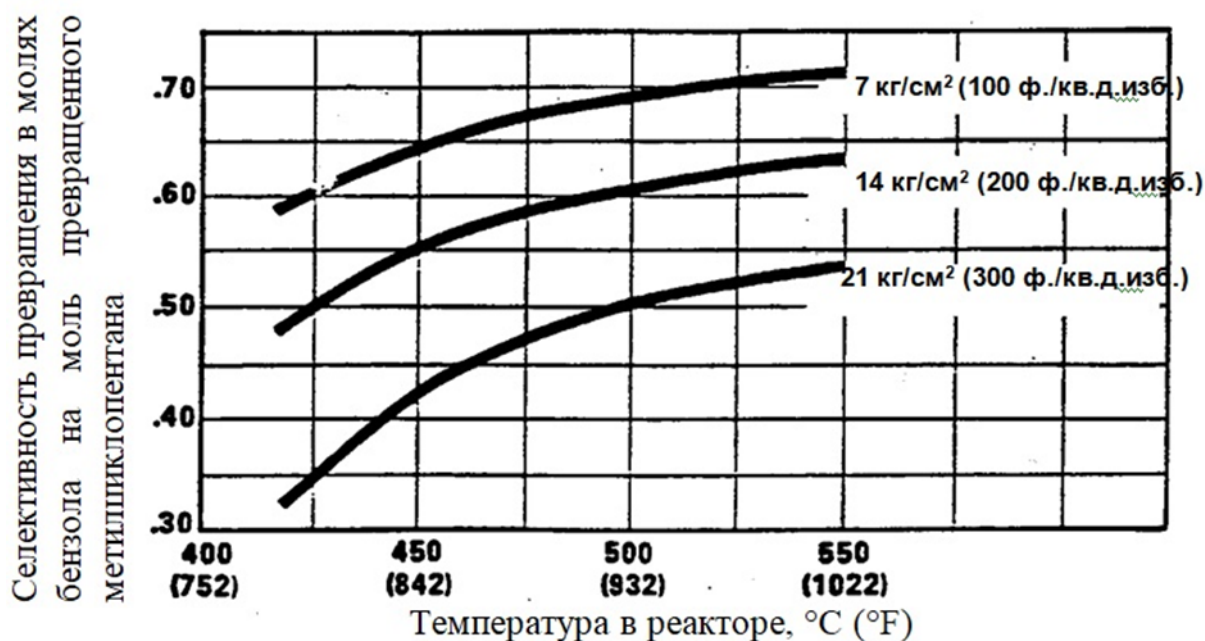


Рис. 2. Селективность превращения метилциклопентана в бензол.

На Рис. 3 представлены результаты, полученные при переработке н-гептана в различных условиях. Селективность реакции превращения гептана в толуол изменяется аналогично селективности превращения н-гексана в бензол. Как и в предыдущем случае, повышение селективности с ростом температуры и уменьшением давления объясняется сочетанием эффектов улучшения равновесного соотношения и подавления реакции гидрокрекинга. Например, при температуре в реакторе 538°C снижение давления в системе с 21 кг/см² до 14 кг/см² приводит к увеличению селективности превращения гептана в толуол на 30%, а при дальнейшем

снижении давления до 7 кг/см^2 эта селективность возрастает на 60% в сравнении с селективностью при давлении 21 кг/см^2 . В идентичных условиях работы установки селективность превращения гептана в толуол от двух до трех раз выше, чем селективность превращения гексана в бензол [3]. Результаты исследований с чистыми исходными компонентами показывают, что изменением условий проведения процесса можно сильно воздействовать на селективность превращения парафинов C_6-C_7 в ароматические соединения. Особенно следует отметить, что для процесса ароматизации более благоприятны низкое давление и высокая температура. Однако, смещение условий проведения процесса в область, благоприятствующую ароматизации, ограничивается из-за сопутствующего снижения стабильности катализатора.

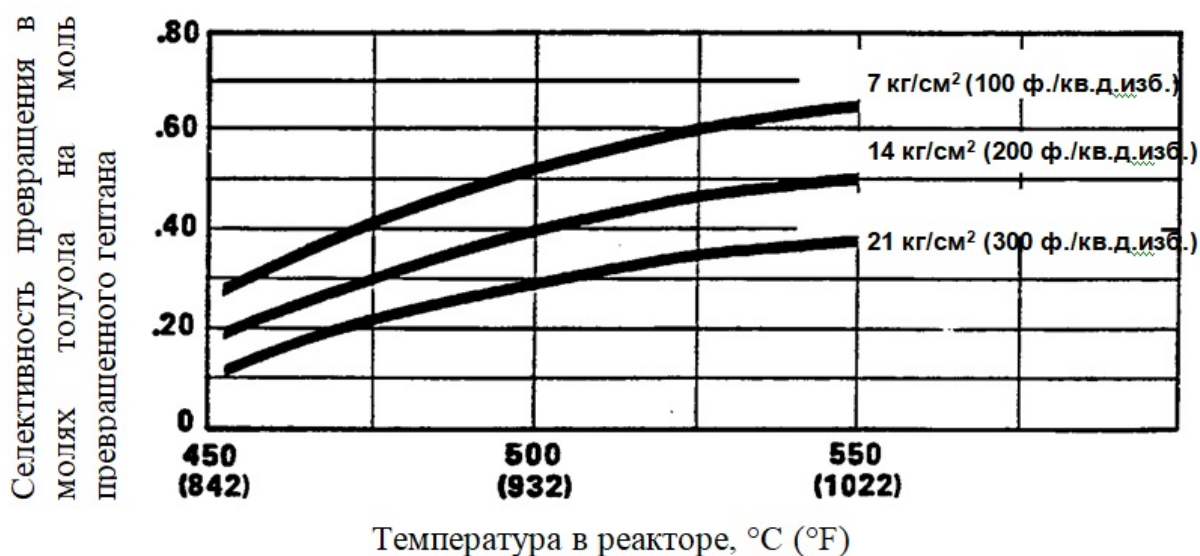


Рис. 3. Селективность превращения н-гептана в толуол

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мейерс, Р. А. Основные процессы нефтепереработки : справочник / Р. А. Мейерс. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Профессия, 2011. – 944 с.
2. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учебное пособие / С. А. Ахметов, М. Х. Ишмияров, А. А. Кауфман. – Санкт-Петербург : Недра, 2009. – 832 с.
3. Левинтер, М. Е. Глубокая переработка нефти : учебное пособие / М. Е. Левинтер, С. А. Ахметов. – Москва : Химия, 1992. – 224 с.

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ПИЩЕВОГО ПАРАФИНА П-2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

Майорова О. О.¹, ведущий специалист кафедры переработки нефти и газа, majorovaoo@tyuiu.ru.

Дрогалев В. В.¹, ведущий специалист лабораторий по направлению переработки нефти и газа, drogalevvv@tyuiu.ru.

Агаев С. Г.¹, д-р. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры переработки нефти, agaevsg@tyuiu.ru.

Байда А. А.¹, канд. техн. наук, доцент кафедры переработки нефти и газа, bajdaaa@tyuiu.ru.

Кобулова В. П.², научный сотрудник, kharitonovavp@gmail.com.

¹г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

²г. Тюмень, СургутНИПИнефть ОАО «Сургутнефтегаз»

Аннотация. Работа посвящена получению среднеплавких восков фракционированием пищевого парафина П-2 с исходной температурой плавления 53⁰С. Методом центрифугирования из растворов в гексане при температуре 18⁰С с выходом до 45,0% мас. получен воск с температурой каплепадения до 47-48⁰С. Принято массовое соотношение гексан:парафин равным 2,0 и скорость вращения ротора центрифуги 4000 об/мин. Полученный воск предлагается в качестве компонента для получения термоактивных восков, используемых в датчиках температуры.

Ключевые слова: нефтяной парафин, воск, центрифугирование.

На российском рынке отсутствуют предложения среднеплавких парафинов с преимущественным содержанием н-алканов C_{20-24} , являющихся основой термоактивных восков, используемых в системах охлаждения радиоэлектронной аппаратуры. Разработка парафиновосковых продуктов различного назначения на основе ограниченной номенклатуры имеющегося на рынке парафинового сырья является актуальной задачей.

Для получения термоактивных восков в основном используются два способа [1, 2, 3]: дистилляция парафинов с последующим компаундированием получаемых компонентов [2] и холодное фракционирование парафинов в избирательных растворителях [1, 3]. Недостатком этих способов является необходимость использования сложного оборудования и высокотоксичных ароматических растворителей. Известен также способ выделения твердых углеводородов из нефтяного сырья на центрифугах, используемый на установке «Барисол-процесс» [4]. Метод центрифугирования более удобен и прост по сравнению с холодным фракционированием на вакуумных фильтрах [1, 3]. Его использование

особенно оправдано в лабораторных условиях для получения компонентов термоактивных восков, являющихся малотоннажными продуктами.

Целью работы является получение компонентов восков с повышенным содержанием среднеплавких н-алканов C_{20-24} фракционированием пищевого парафина П-2 методом центрифугирования.

В качестве сырья для получения среднеплавкого парафина использовался твердый пищевой парафин марки П-2 производства ООО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» (ТУ-38.1011322-90 с изм.1). Парафин П-2 имел следующие свойства: температура каплепадения по Уббелюде $53^{\circ}C$; показатель преломления при $100^{\circ}C$ 1,4189; плотность при $85^{\circ}C$ 763 кг/м^3 . Содержание масла в парафине по данным производителя 0,65%мас. Распределение н-алканов в парафине П-2 по данным хроматографии приводится на рисунке. В состав парафина П-2 входят н-алканы с длиной цепи от C_{15} до C_{36} . Содержание среднеплавких н-алканов C_{20-24} в парафине П-2 не превышает 29,63%мас. Выбор парафина П-2 был сделан из десяти образцов жидких и твердых парафинов российского производства на основе их хроматографического анализа, проведенного в лаборатории Технополиса Тюменского индустриального университета.

Фракционирование парафина П-2 проводили методом центрифугирования из его растворов в гексане. Для фугования использовали рефрижераторную центрифугу «Thermo scientific» (Германия). Основными параметрами, определяющими эффективность фракционирования твердых углеводородов, являются: кратность разбавления парафина гексаном, скорость вращения ротора центрифуги, температура фугования, время фугования и материал пробирок, используемых для фугования. Фугование парафина из его раствора в гексане проводили при массовом соотношении гексан:парафин 2,0:1,0 при температурах 12, 18 и $24^{\circ}C$ и скорости вращения ротора центрифуги 4000 об/мин. Время фугования 30 минут. Для фугования использовали пробирки из фторопласта и нержавеющей стали емкостью 50 мл. Количество пробирок в центрифуге на загрузку 6 штук. Гексан из низкоплавких и высокоплавких фракций удаляли простой отгонкой при атмосферном давлении. Удаление остатков растворителя и доведение низкоплавких и высокоплавких фракций до постоянного веса проводили в сушильном шкафу, работающем в паре с вакуумным насосом. По результатам фракционирования составлялся материальный баланс фугования парафина (таблица). Определялся выход высокоплавких и низкоплавких компонентов восков, а также потери. Для полученных компонентов восков определялась температура каплепадения по Уббелюде и углеводородный состав по данным газовой хроматографии.

Результаты фракционирования парафина П-2 из гексана (см. таблица) показывают, что с понижением температуры процесса независимо от материала пробирок выход низкоплавких фракций (НПФ)

уменьшается, их температура каплепадения понижается до 47-48°C. Оптимальной независимо от материала пробирок является температура фугования 18°C. При этой температуре выход относительно исходного сырья низкоплавких фракций составляет от 33,2 (материал нержавеющей стали) до 45,0 (материал фторопласт) % мас. В первом случае температура каплепадения НПФ относительно исходного парафина понижается с 53,0 до 50,5 °С, а во втором – до 48,0 °С. По данным хроматографии (см. рис.) во втором случае (материал фторопласт) содержание среднеплавкой фракции C_{20-24} относительно сырья возрастает с 29,6 до 38,6% мас.

Таким образом, показано, что с использованием центрифугирования пищевого парафина П-2 из растворов в гексане можно получать среднеплавкие фракции с повышенным содержанием парафинов C_{20-24} , которые могут использоваться в качестве компонентов термоактивных восков.

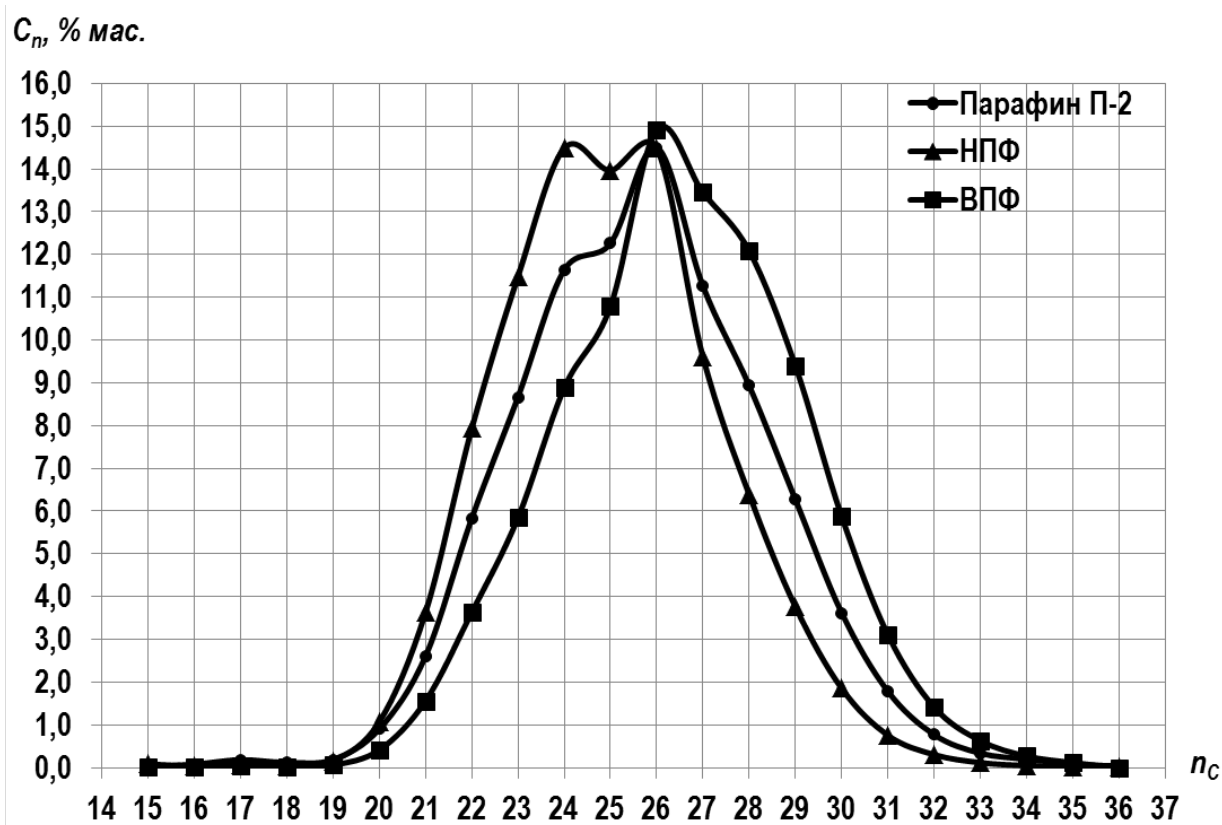


Рис. 1. Распределение по содержанию n-алканов C_n с числом атомов углерода n_C в парафине П-2 и в выделенных из него при температуре фугования 18°C низкоплавкой (НПФ) и высокоплавкой (ВПФ) фракций

Таблица 1

Фракционирование парафина П-2 (Ткп= 52°C) центрифугированием из гексана

Параметры фугования					Показатели фугования					
массовое соотношение гексан:П-2	температура помутнения °С	скорость вращения ротора центрифуги, об/мин	температура, °С	время, мин.	Материал пробирок для фугования	выход, %мас.			Ткп, °С	
						НПФ	ВПФ	Потери	НПФ	ВПФ
2,0:1,0	30,0	4000	24	30	фторопласт	78,5	20,3	1,2	51,0	54,0
			18			45,0	54,6	0,4	48,0	52,5
			12			15,4	81,5	3,1	47,0	52,0
			24		нержавеющая сталь	84,7	15,9	0,6	52,5	54,0
			18			33,2	65,9	1,0	50,5	53,0
			12			13,0	85,3	1,7	49,0	53,5

Обозначения: НПФ – низкоплавкая фракция, ВПФ – высокоплавкая фракция; Ткп – температура каплепадения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авт. с-во 1084289 СССР, МПК С10G 73/36. Способ получения термоактивных восков для терморегуляторов / Куцевалов В. В., Куканова К. П., Костин Н. И., Горбунов В. А., Шаля М. А., Анисимов И.Г.; заявитель Предприятие ПЯ А-3483. – № 3496107/23-04; заявл. 04.06.82; опубл. 07.04.84, Бюл. № 13.

2. Авт. с-во 1696463 СССР, МПК С10G 73/00. Способ получения восков для термосиловых датчиков / Куцевалов В. В., Куканова К. П., Костин Н. И., Иванова Н. Н.; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт оборудования нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (ВНИКТИнефтехимоборудования). – № 89 4750279; заявл. 17.10.89; опубл. 07.12.91, Бюл. № 45.

3. Пат. 2009171 Российская федерация, МПК С10G 73/36. Способ получения термовосков / Куцевалов В. В., Куканова К. П., Думский Ю. В., Виноградов О. И., Пичугин Ю. П., Фолиянц А. Е.; патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт оборудования нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (ВНИКТИнефтехимоборудования). – № 5059202/04; заявл. 19.08.1992; опубл. 15.03.1994.

4. Черножуков, Н. И. Технология переработки нефти и газа. Часть 3. Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных

нефтепродуктов / Н. И. Черножуков; под ред. А. А. Гуреева и Б. И. Бондаренко. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – Москва : Химия, 1978. – 424 с.

УДК 665.753.4+66.086.2

ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОДЕПАРАФИНИЗАЦИИ И ПУТИ К ПОВЫШЕНИЮ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Рябцев К. Ю., бакалавр, kir-160198@list.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Актуальность поднятой проблемы заключается в том, что в условиях повышения себестоимости добычи углеводородов особенно значимым становится ресурсосбережение, а процесс электродепарафинизации позволяет сопряженно с частично депарафинизированным дизельным топливом получать ценный продукт – парафин. Целью настоящей работы является поиск наиболее общих путей, которые способны привести к более полной реализации всех возможностей данного процесса. Был проведен анализ недостаточно высокой эффективности процесса, в результате которого выработаны определенные предложения по усовершенствованию технологии данного процесса в целом, а также конструкции электродепарафинизатора. Таким образом, сделан вывод о необходимости и возможности дальнейшей проработки и внедрения в производство данного процесса.

Ключевые слова: дизельное топливо, депарафинизация, ресурсосбережение, парафины.

Наиболее технологичными способами депарафинизации дизельных топлив на данный момент являются каталитическая депарафинизация и гидроизомеризация, ввиду их достаточно высокой селективности, широких пределов корректировки технологического режима, возможности получения низкотемпературных характеристик, соответствующих высоким стандартам.

В сфере нефтегазопереработки нет примеров использования на производстве электрических полей для выделения твердых парафинов из дизтоплива.

Автор данной статьи, внося свои предложения по модификации, исходил от проекта установки, предложенного в монографии[1].

Данный процесс интересен своей селективностью и энерго-, ресурсосберегающим потенциалом. Во-первых, сопряженно с ним может быть получен парафин-сырец[1]. Во-вторых, в отличие от каталитической депарафинизации и гидроизомеризации происходит не преобразование(крекинг, изомеризация) составляющей, снижающей эксплуатационные свойства(парафина), а его выделение из общего объема дизтоплива.

Разработки по процессу электродепарафинизации в данный момент являются малоизвестными, нет примеров их внедрения в производственный процесс. Причиной этому отчасти могут быть не всегда оптимальные низкотемпературные характеристики (среднестатистическая температура помутнения конечного продукта - $-15-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это связано с тем, что электроосаждение происходит конкретно тех парафинов, которые осаждаются при температуре проведения процесса, что существенно ограничивает «спектр отбора» высокоплавких парафинов. Температуры проведения процесса, хотя бы незначительно ниже $-15, -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ недостижимы, ввиду возможности электрического пробоя при кристаллизации парафинов[1].

Решить эту проблему может или разбиение процесса на множество ступеней, когда продукт будет проходить несколько циклов охлаждения-электроосаждения, или полная интеграция данных двух процессов. Сделать это можно, если совместить систему подачи хладагента и элементы системы электроосаждения.

В конструкции электродепарафинизатора, разработанной авторами монографии[1], установившими ключевые принципы данного технологического процесса, предусмотрены циркуляционные каналы для ввода теплоносителя, способного расплавить осажденные парафины. Такими каналами, в том числе, являются и полости осадительных электродов.

Предлагается использовать эти каналы для ввода хладагента, постепенно уменьшая температуру проведения процесса и увеличивая подаваемое напряжение для успешного осаждения более тяжелых парафинов.

Необходимо горизонтальное размещение пластин, с целью использования в дополнение к электростатическим силам гравитационных сил, влияние которых должно быть тем больше, чем выше молекулярная масса парафинов. Это позволит сэкономить электроэнергию, требующуюся для проведения процесса, позволит в большей степени раскрыть его потенциал. При этом торцы пластин по длине должны быть жестко скреплены со стенками установки, а торцы пластин по ширине – отстоять от стенок на некоторое расстояние. Это обосновано тем, что минимизация длины участка, который способен к прогибу, уменьшит возможные риски. Также необходимо вертикальное крепление для полного устранения прогиба.

Предлагается придать осадительным пластинам ступенчатый вид, с целью увеличения площади поверхности охлаждения. Кроме этого, такая конструкция будет обладать большей жесткостью, что исключит возможность прогиба конструкции. При этом сегменты пластин, лежащие в горизонтальной плоскости, должны быть металлическими, а в вертикальной плоскости – обладать диэлектрическими свойствами, так как

они изначально задуманы лишь для создания большей поверхности охлаждения. Необходимо создать систему подведения напряжения ко всем металлическим сегментам пластин.

Таким образом, дальнейшая модификация установки электродепарафинизации, в том числе реализуемая по предложенным автором данной статьи вариантам, способна сделать процесс существенно более конкурентоспособным по сравнению с наиболее признанными и распространенными на высокотехнологичных производствах процессами депарафинизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Улучшение низкотемпературных свойств дизельных топлив: монография / С. Г. Агаев [и др.] – Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. – 145 с.

УДК 665.753.4+608.2

УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫХОДА СВЕТЛЫХ ФРАКЦИЙ ПОСРЕДСТВОМ ВОВЛЕЧЕНИЯ НЕЗАДЕЙСТВОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДЕПАРАФИНИЗАЦИИ

Семухин С. П., канд. пед. наук, доцент, semuhinsp@tyuiu.ru

Рябцев К. Ю., бакалавр, kir-160198@list.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Актуальность статьи заключается в том, что рассматривается пример того, как рационализация производственного процесса и использование инновационных технологий способны значительно повысить эффективность работы предприятия нефтеперерабатывающей сферы. Целью данной работы является анализ возможных путей использования незадействованного оборудования завода. В качестве методов проведения исследования использовались технологические расчеты, в том числе с использованием специализированного программного обеспечения, лабораторное моделирование процесса подготовки топлива, была изучена литература по процессам подготовки дизельных топлив. В результате были выработаны предложения по корректировке технологической схемы, обоснован проект новой технологической схемы. Сделан вывод о необходимости внедрения в производственный процесс простаивающего оборудования и последующей подготовке дополнительных объемов сырья с использованием электродепарафинизации.

Ключевые слова: дизельное топливо, депарафинизация, ресурсосбережение, рационализация, ректификация.

На Сургутском ЗСК топлива производятся на установке моторных топлив (УМТ). С кубовым продуктом основной колонны К-1 («фракция >340°С») уходит около 50% светлых фракций.

Выделить их путём подбора технологического режима или замены контактных устройств невозможно: колонна изначально проектировалась для ректификации более легкого сырья, без расчета на увеличение доли ачимовского конденсата по сравнению с конденсатом валанжинских скважин Ямбургского месторождения.

На установке присутствует незадействованная колонна К-4 с обвязкой. Использование ее для извлечения дизельных фракций из кубового продукта К-1 позволяет увеличить производство дизельной фракции на УМТ на 27% от текущего количества, согласно расчетам, проведенным в программе Aspen HYSYS. Результаты расчетов необходимых характеристик вспомогательного оборудования показывают, что реконструкция требует лишь замены рефлюксной ёмкости, насоса Н-30. Результаты расчета штуцеров показывают, что замены требует лишь штуцер вывода нижнего продукта. Геометрические параметры колонны соответствуют необходимым.

В связи с повышением количества производимого дизтоплива возникает вопрос о его подготовке.

Во-первых, необходимо очистить дизтопливо от нежелательных компонентов, таких как сера. Сделать это можно посредством или гидроочистки, или компаундирования, что является наиболее оптимальным вариантом, ввиду низких затрат и сравнительно малого содержания серы в исходном сырье.

Во-вторых, имеется необходимость депарафинизации, так как местонахождение завода требует соответствия топлива нормам на зимние и арктически сорта. Существующая установка каталитической депарафинизации имеет максимальную загрузку производственных мощностей, увеличение которых посредством реконструкции невозможно. Таким образом, необходимо спроектировать установку депарафинизации, которая оправдывала бы себя для подготовки сравнительно малых объемов дизтоплива.

Преимуществом электродепарафинизации является то, что она обеспечивает более низкие потери целевого продукта, чем каталитическая, а также не оказывает настолько существенного влияния на цетановое число, в связи с чем не требует дополнительных расходов на цетаноповышающие присадки. Побочный продукт – парафин-сырец – имеет широкую сферу применения [2].

Недостатком электродепарафинизации является высокая стоимость холодильного оборудования, потенциальная опасность при работе с высокими напряжениями. В отличие от каталитической депарафинизации,

сопряженно с процессом депарафинизации не осуществляется гидроочистка.

Тем не менее, ввиду общей простоты технологии, благоприятствующих температур Севера, разнонаправленного решения проблемы ресурсосбережения в условиях медленного истощения запасов нефти в России, технология может найти свое применение в некоторых случаях и имеет определенные перспективы [2].

Каталитическая депарафинизация, хотя и является наиболее перспективной и признанной технологией наряду с гидроизомеризацией, имеет на порядок более сложную технологическую схему, чем электро-, для которой в рассматриваемом случае требуется лишь электродепарафинизатор и вспомогательное оборудование. В связи с этим более целесообразным представляется для подготовки дополнительных объемов дизтоплива использовать именно электродепарафинизацию.

На опытной установке, моделирующей в ключевых чертах реальный процесс, был проведен ряд опытов по подбору наиболее подходящих присадок, способствующих максимальному выходу депарафинизированного дизтоплива.

Таким образом, капитальные вложения по второй части проекта включают в себя главным образом затраты на оборудование для облагораживания дизтоплива (электродепарафинизация) и парафина-сырца. Первая часть проекта по введению в эксплуатацию колонны К-4 имеет малые капитальные вложения и краткосрочный период окупаемости, а потому доходы от продажи дополнительных объемов дизтоплива способны компенсировать общие вложения в проект. Планируется составить смету и детально обосновать экономическую эффективность данного проекта. В результате его осуществления будет увеличена глубина переработки поступающей на завод нефтегазоконденсатной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камешков, А. В. Получение дизельных топлив с улучшенными низкотемпературными свойствами (обзор) / А. В. Камешков, А. А. Гайле // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2015. – № 29. – С. 49-60.

2. Улучшение низкотемпературных свойств дизельных топлив: монография / С. Г. Агаев [и др.] – Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. – 145 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРООЧИСТКИ

Симаков С. Е., бакалавр, semen.simakov.97@mail.ru

Савченков А. Л., канд. техн. наук, доцент, savchenkoval@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье рассматриваются способы повышения эффективности гидроочистки дизельного топлива за счет действия активированных катализаторов. В статье рассмотрены характеристики алюмоникельмолибденовых и алюмокобальтмолибденовых катализаторов. По итогам исследования было определено, что заранее активированные катализаторы обладают более высокой активностью, чем обычные, причем алюмокобальтмолибденовые катализаторы более эффективны в среде тяжелого дизельного топлива, чем алюмоникельмолибденовые.

Ключевые слова: гидроочистка, дизельное топливо, катализатор.

Гидроочистка – процесс превращения веществ под действием водорода при высокой температуре и высоком давлении. Гидроочистка различных нефтяных фракций предназначена для удаления органических соединений серы, азота, кислорода и превращение их в сероводород, аммиак, воду и соответствующие углеводороды, а также насыщение веществ, содержащих кратные связи.

На кинетику процесса оказывает влияние ряд факторов: температура, давление, парциальное давление водорода, время контакта сырья с катализатором в реакционной зоне, активность катализатора. Управление процессом, в первую очередь, осуществляется за счет изменения температуры в реакционной зоне [1].

Во многих странах мира требования на бензины, керосины и дизельные топлива очень быстро изменяются, вынуждая нефтеперерабатывающие компании инвестировать значительные денежные средства в постройку новых и модернизацию действующих установок. Наиболее технологичный вариант – модернизация катализаторов.

Современные катализаторы гидрогенизационной переработки представляют собой сложную систему, состоящую из трёх групп компонентов, функции которых различны: активных компонентов, структурирующих компонентов и модификаторов.

Используемые в промышленных гидрогенизационных процессах катализаторы являются сложными композициями, в их состав входят, как правило, следующие компоненты:

- 1) металлы VIII группы;

- 2) оксиды или сульфиды VI группы;
- 3) термостойкие носители с развитой удельной поверхностью, инертные или обладающие кислотными свойствами;
- 4) модификаторы.

Таблица 1

Характеристики катализаторов

Марка	Характеристика	Форма	Тип носителя
Алюмокобальтмолибденовые катализаторы			
KF-752	Высокая обессеривающая способность	Четырехлистник	Al ₂ O ₃
KF-742	Глубокое гидрообессеривание	Четырехлистник	Al ₂ O ₃
ГО-70	Высокая обессеривающая и деазотирующая активность	Цилиндр	Al ₂ O ₃
ГО-86	Высокая обессеривающая активность	Цилиндр	Al ₂ O ₃
ДТ-005К	Глубокое гидрообессеривание	Цилиндр	Al ₂ O ₃
ТК-524	Глубокое гидрообессеривание	Трилистник	Al ₂ O ₃
ТК-578 BRIM™	Глубокое гидрообессеривание	Трилистник	Al ₂ O ₃
Алюмоникельмолибденовые катализаторы			
KF-845	Высокая обессеривающая и деазотирующая активность	Четырехлистник	Al ₂ O ₃
КПС-16Н	Высокая обессеривающая активность	Цилиндр	Al ₂ O ₃
HDS-3	Насыщение ароматических углеводородов	Сформованные экструдаты	Al ₂ O ₃
ГКД-202	Высокая обессеривающая активность	Цилиндр	Al ₂ O ₃
ДТ-005Н	Глубокое гидрообессеривание	Цилиндр	Al ₂ O ₃
ТК-743	Деметаллизирующая активность	Четырехлистник	Al ₂ O ₃
ТК-437	Высокая обессеривающая активность	Трилистник	Al ₂ O ₃

Наиболее распространены в гидрогенизационных процессах алюмокобальтмолибденовые (АКМ), алюмоникельмолибденовые (АНМ) и смешанные алюмоникелькобальтмолибденовые (АНКМ), а также алюмоникельмолибденосиликатные (АНМС) катализаторы [2,3].

Один из способов гидрооблагораживания дизельного топлива заключается в том, что процесс гидроочистки дизельного топлива проводят с предварительным добавлением серы в первый слой катализатора по ходу движения сырья в среде водородсодержащего газа при 350...400 °С. После первого слоя продукт гидроочистки контактирует с двумя слоями окисного алюмокобальтмолибденового катализатора последовательно при массовом соотношении первого, второго и третьего слоев 0,3...0,1:0,2...0,3:0,5...0,6 соответственно [4].

Также предложен способ получения экологически безопасного дизельного топлива (н.к. не ниже 170°С, к.к. не выше 370°С) с содержанием серы и ароматических углеводородов не более 0,05 % масс. и 20 % об. соответственно путем гидроочистки нефтяных фракций в присутствии алюмокобальтмолибденовых (АКМ) и алюмоникельмолибденовых (АНМ) катализаторов.

По данной технологии фракцию с н.к. ниже 300°С подвергают гидроочистке с использованием каталитической системы, состоящей из 10...50 % масс. АНМ катализатора, предварительно активированного этилмеркаптаном, взятом в количестве 10...20 % от общей массы каталитической системы, с получением продукта 1, а фракцию, у которой н.к. выше 300°С подвергают гидроочистке с использованием каталитической системы, состоящей из 10...40 % масс. АКМ катализатора, активированного элементарной серой, взятой в количестве 5...20 % масс. от общей массы каталитической системы, с получением продукта 2, с последующим компаундированием получаемых продуктов в соотношении продукт 1: продукт 2 = 3...4 : 2...1. [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожемякин, М. Ю. Гидроочистка дизельного топлива / М. Ю. Кожемякин, Е. И. Черкасова. // Вестник технологического университета - 2015. - Т.18, №23. – С. 28-30

2. Солодова, Н. Л. Гидроочистка топлив: учеб. пособие / Н. Л. Солодова, Н. А. Терентьева. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2008. –63 с.

3. Технология переработки нефти и газа. Процессы глубокой переработки нефти и нефтяных фракций: учеб.-метод. комплекс / сост. С. М. Ткачев – Новополюцк: ПГУ, 2006. – 345 с.

4. Патент RU 2024587, МПК C10G65/04 C10G45/08. Способ гидрооблагораживания дизельного топлива / Подлесный В. Н., Мунд С. Л.,

Насиров Р. К., Гусейнов М. М., Талисман Е. Л.; патентообладатель Подлесный Владимир Николаевич; заявл. 11.11.1991; опубл. 15.12.1994.

5. Патент RU 2024587, МПК C10G65/16. Способ получения экологобезопасного дизельного топлива / Насиров Р. К., Бичурин Р. Ч.; патентообладатель Открытое акционерное общество "СоюзНефтеЭКОлогия"; заявл. 22.11.1996; опубл. 27.01.1998.

УДК 54.06

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

Скворцова Е. Н., канд. техн. наук, доцент, skvortsovaen@tyuiu.ru.

Вачаева Т. Н., магистрант, tanya.va4aewa@yandex.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Целью работы является изучение физико-химических свойств нефти и товарных нефтепродуктов, а также разработка рекомендаций по дальнейшей переработке. Работа является актуальной, ведь именно благодаря лабораторным исследованиям можно сделать выводы, какие аппараты нужны для переработки, а какие – нет. На основании данных, полученных в результате разгонки на АРН, нефть целесообразно подвергнуть ректификации с получением следующих фракций: бензиновой, керосиновой и дизельной.

Ключевые слова: Нефть, исследование, рекомендации.

Нефть – смесь углеводородов с примесью различных соединений, например, азота, серы, кислорода [1]. В зависимости от химического состава она может быть светлой и текучей как вода, а может быть черной с высокой вязкостью.

Нефть добывают с различных глубин, обычно с нескольких десятков метров до 5 километров. С увеличением интервала перфорации молекулярная масса увеличивается, ведь это связано с преобладанием тяжелых углеводородов над легкими.

Нефть известна человеку с древнейших времен. Изначально она использовалась в строительстве в качестве добавки, защищающей от влаги, в медицине как лекарство от кожных болезней, а также для освещения в керосиновых лампах. Именно последнее положило начало нефтедобывающей промышленности, ведь получение керосина из угля происходило в меньшем количестве и являлось более дорогостоящим процессом по сравнению с получением из нефти [2].

Технологическая схема переработки зависит от многих факторов, например, химического состава нефти, требований к качеству получаемых нефтепродуктов. Путем ректификации из нефти можно получить бензиновые (с интервалом кипения 30-230°С), керосиновые (230-350°С) и дизельные (>350°С) фракции, а также более высококипящие, например, гудрон (>500°С) [3].

Изучение нефти проводится в специализированных лабораториях согласно ГОСТу. На основании полученных данных разрабатываются рекомендации по оптимальной переработке.

На начальном этапе физико-химических исследований устьевой пробы сырой нефти определяются следующие характеристики: содержание воды, хлористых солей, механических примесей, а также температура вспышки в закрытом тигле.

Таблица 1

Результаты физико-химических исследований

Параметр	Метод определения	Размерность	Значение
Плотность при 20 °С	ГОСТ 3900-85	кг/м ³	859,2
Кинематическая вязкость При 20 °С При 50 °С	ГОСТ 33-2000	мм ² /с	7,534 3,489
Молекулярная масса	Криоскопический (с бензолом)		219
Коксуемость	ГОСТ 33-19932-99	% масс	0,43
Температура застывания	ГОСТ 20287-91	°С	Минус 7
Температура плавления	ГОСТ 23683-79	°С	53
Содержание:			
- парафина	ГОСТ 11851-85	% масс	2,55
- серы	ГОСТ 1437-75	% масс	0,10
- смол силикагелевых	адсорбционный	% масс	2,47
- асфальтенов		% масс	0,14
- воды в сырой нефти в обезвоженной нефти	ГОСТ 2477-65	% масс	следы
			нет
- механических примесей	ГОСТ 6370-83	% масс (мг/л)	80,5768
- хлористых солей в сырой нефти в обезвоженной нефти	ГОСТ 21535-76	мг/дм ³	17,63
			менее 0,01
Кислотное число	ГОСТ 5985-79	мг КОН/г	0,09
Температура вспышки в закрытом тигле	ГОСТ 6356-75	°С	0
Давление насыщенных паров	ГОСТ 1756-2000	кПа (мм рт.ст.)	20,7 (155,3)

Были получены следующие результаты.

Содержание воды – следы;

Содержание хлористых солей – 17,63%;

Содержание мех.примесей – 0,0094%;

Температуры вспышки – 0°С.

Компонентный состав определялся методом газожидкостной хроматографии.

В таблице 1 представлена физико-химическая характеристики нефти.

Таблица 2

Фракционный состав нефти

Температура, °С	Отгон, % объемный
100	9,4
120	13,7
150	18,6
160	25,3
180	30,7
200	35,4
220	41,2
240	54,0
250	56,7
260	59,3
280	61,7
300	64,2
320	67,1
330	69,2
Остаток, % об.	29,3
Потери, % об.	1,5

Выход бензиновой фракции составляет 30,7 % масс, керосиновой – 23,3 % масс, а дизельной – 15,2 % масс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левинтер, М. Е. Глубокая переработка нефти / М. Е. Левинтер, С. А. Ахметов. – Москва: Химия, 1992. – 224 с.

2. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа / С.А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 673 с.

3. Добрянский, А. Ф. Химия нефти / А. Ф. Добрянский. – Ленинград: Гостоптехиздат, 1961. – 224 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ

Тамазян Д. В., магистрант, diannatam_93@mail.ru

Савченков А. Л., канд. техн. наук, доцент, savchenkoval@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В работе рассмотрены общие сведения о процессе изомеризации, варианты различных технологических схем. Целью работы является усовершенствование процесса изомеризации. Предлагается заменить катализатор марки ATIS-2L на катализатор марки СИ-2. Изучены характеристики катализаторов СИ-2 и ATIS-2L. На основе проводимых исследований был выбран наиболее оптимальный катализатор, так как он улучшит условия обслуживания установки для технологического персонала и снизит затраты на её эксплуатацию.

Ключевые слова: изомеризация, октановое число, технологическая схема, катализатор, установка.

Современный мир невозможно представить без автомобильного транспорта. Он используется почти во всех отраслях народного хозяйства. Его единственный, но весьма значительный недостаток – это загрязнение окружающей среды. В России из большого количества вредных выбросов различных транспортных средств на автомобили приходится 89 % [1]. Для решения экологических проблем были приняты меры по регулированию выбросов в атмосферу вредных веществ отработанных газов автомобилей, при этом сохраняя высокие потребительские качества топлива. А именно, были поставлены следующие задачи:

- 1) Поддержание высокого октанового числа.
- 2) Снижение содержания ароматических углеводородов. На первом этапе ограничение составляет 42 %, далее 35 % и 25 %.
- 3) Минимизация содержания бензола до 1 % масс, и менее.
- 4) Снижение содержания серы до 50 ppm и далее до 10 ppm.
- 5) Снижение содержания олефиновых углеводородов на первом этапе до 18 %, далее до 4 % об. [3].

Долгое время эти требования обеспечивались за счет использования специальной добавки антидетонатора – метилтретбутилового эфира (МТБЭ). Кроме того, МТБЭ является дорогостоящим компонентом, что негативно сказывается на ценовых характеристиках автомобильных бензинов.

Процесс низкотемпературной изомеризации углеводородов C_5 - C_6 является одним из самых актуальных способов получения высокооктановых компонентов товарного автомобильного бензина с

улучшенными экологическими свойствами. Целевым продуктом данного процесса является изомеризат. Его эксплуатационные свойства зависят от типа используемого катализатора и варианта технологической схемы [1,2].

Катализаторы данного процесса представляют собой платину, нанесенную на различные носители: хлорированный Al_2O_3 , цеолиты, сульфатированный ZrO_2 . Хлорированные катализаторы обладают самой высокой активностью, вследствие чего являются очень чувствительными к действию каталитических ядов. Цеолитные катализаторы характеризуются высокой устойчивостью к каталитическим ядам и способны легко восстанавливаться после проведения регенерации. Однако катализаторы данного типа обладают наименьшей активностью среди существующих катализаторов изомеризации. Сульфатированные катализаторы компенсируют оба недостатка вышеперечисленных катализаторов [3].

Для того чтобы получить бензин с высоким октановым числом, необходимо обеспечить полную конверсию всех углеводородов нормального строения в разветвленные изомеры. То есть требуются технологические схемы с рециркуляцией непревращенных компонентов. Существуют следующие варианты технологических схем процесса изомеризации:

1) Схема «за проход». Однопроходная схема без рециркуляции непревращенных компонентов. Октановое число изомеризата исследовательским методом (ОЧИ) составляет 82...84.

2) Схема с колоннами деизопентанизации депентанизации (ДИП+ДП). Колонна ДИП располагается перед реакторным блоком изомеризации, а колонна ДП после реакторного блока. Прирост октанового числа идет за счёт выделения присутствующего в сырье изопентана и рециркуляции *n*-пентана ОЧИ составляет 86...88.

3) Схема с колонной деизогексанизации (ДИГ). Колонна располагается после реакторного блока изомеризации. Повышение октанового числа достигается рециркуляцией *n*-гексана и низкооктановых метилпентанов. ОЧИ достигает 87...88.

4) Схема с колоннами ДИП и ДИГ. ОЧИ составляет 89...90. Данный вариант установки считается одним из наиболее оптимальных технических решений.

5) Схема с колоннами ДИП, ДП и ДИГ. Октановое число по исследовательскому методу составляет 91...92.

6) Схема с колоннами ДИП, СуперДИГ. Колонна СуперДИГ представляет собой объединенную колонну ДИГ с колонной ДП. ОЧИ составляет 90,5...91,5 [3].

Технологическая схема установки изомеризации пентан-гексановой фракции на предприятии ООО «Газпром нефтехим Салават» состоит из колонн ДИП и ДИГ. Установка введена в эксплуатацию в I квартале 2017

года. Процесс осуществляется на хлорированном алюмоплатиновом катализаторе марки ATIS-2L компании Axens.

Основные недостатки при эксплуатации установки изомеризации на катализаторе ATIS-2L:

- 1) Высокая чувствительность катализатора к действию каталитических ядов.
- 2) Необходимость непрерывной подачи хлорсодержащего соединения.
- 3) Образование хлорорганических отходов, требующие защелачивания и утилизации.
- 4) Полная потеря активности после проскока ядов.
- 5) Нерегенерируемость.

Для устранения данных недостатков необходимо использовать альтернативный вариант катализатора, а именно, предлагается заменить катализатор марки ATIS-2L на катализатор марки СИ-2 компании ООО «НПП Нефтехим».

В Табл.1 приведена сравнительная характеристика данных катализаторов [3].

Таблица 1

Сравнительная характеристика катализаторов СИ-2 и ATIS 2L

Параметр	ATIS-2L (AXENS) Pt/хлорированный Al ₂ O ₃	СИ-2 (НПП Нефтехим) Pt/ZrO ₂ -SO ₄
Температура в реакторе, °С	110...170	120...180
Давление, МПа	1,5...3,6	3,0...3,5
Объёмная скорость, ч ⁻¹	1,35...2,00	2,5...3,5
Мольное соотношение Н ₂ : СН	< 1	(1,5...2,5) : 1
Компрессор	Отсутствует	Необходим
Подача хлора, щелочная обработка	Необходима	Отсутствует
Осушка сырья	Необходима	Отсутствует
Октановое число (ИОЧ), (ДИП + ДИГ)	Не менее 89	89...90

На Рис.1 и 2 приведены графики линий активностей данных катализаторов.

Из Табл.1 и из Рис. 1,2 можно сделать вывод, что катализатор СИ-2 обладает рядом преимуществ перед катализатором ATIS-2L, а именно:

- не уступает по активности;
- не требуется предварительная подготовка сырья;
- не требуется введение хлорсодержащего соединения;
- не требуется щелочная обработка углеводородного газа;
- регенерируемость катализатора с межрегенерационным периодом 2...3года;
- большой коэффициент прочности;
- меньшие капитальные и эксплуатационные затраты.

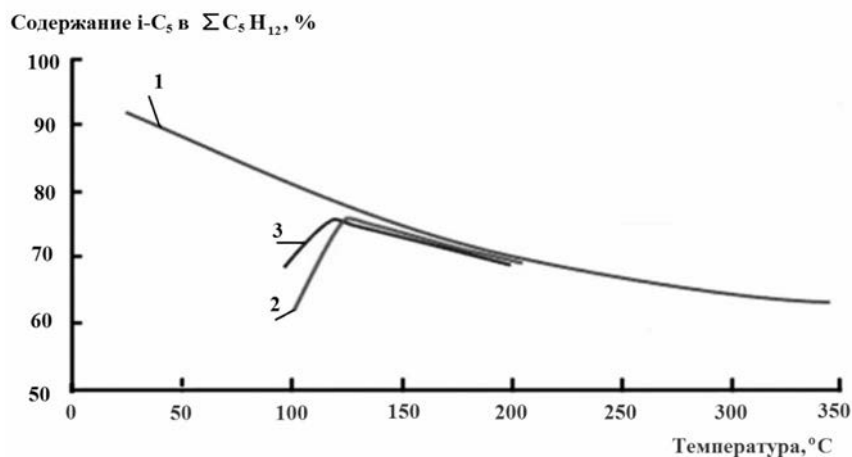


Рис. 1. Активность катализаторов СИ-2 и АТІS-2L в образовании изомеров C₅: 1-равновесная линия, 2-катализатор СИ-2, 3-катализатор АТІS-2L

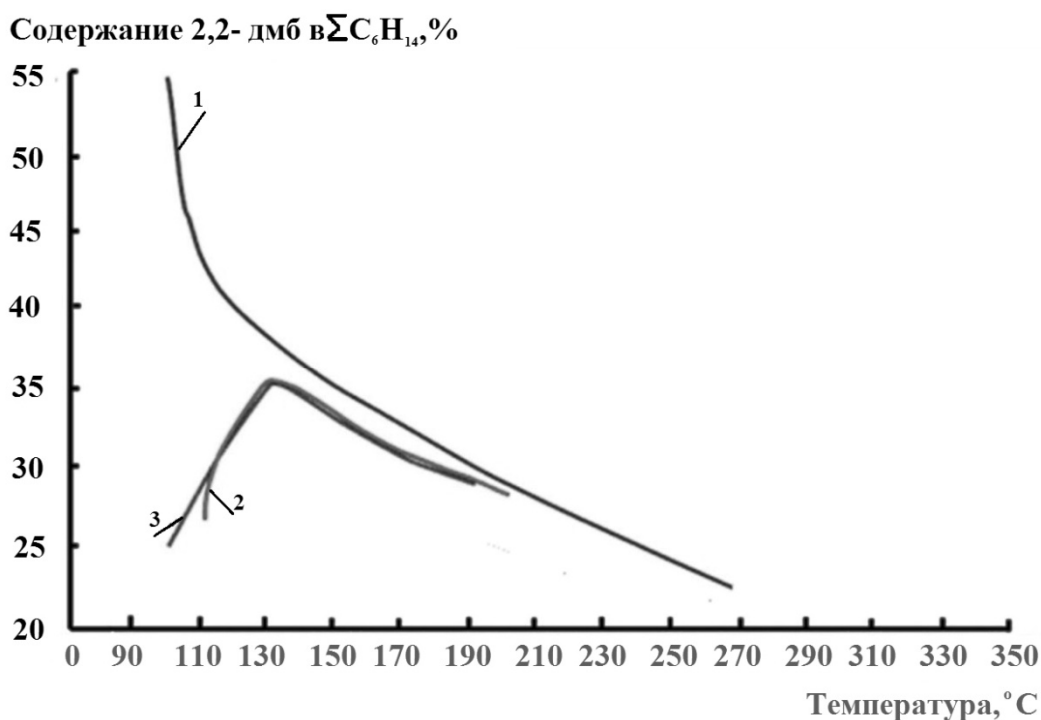


Рис. 2. Активность катализаторов СИ-2 и АТІS-2L в образовании изомеров C₆: 1-равновесная линия, 2- катализатор СИ-2, 3-катализатор АТІS-2L

Таким образом, совершенствование установки изомеризации путём введения нового катализатора СИ-2 улучшит условия обслуживания установки для технологического персонала и снизит затраты на её эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миримян, А. А. Промышленный опыт работы установок изомеризации пентан-гексановой фракции / А. А. Миримян, А. Г.

Вихман, А. А. Мкртычев // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2006. – № 4. – С. 10-12.

2. ООО «НПП Нефтехим» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://nefthim.ru/>

3. Ясакова, Е. А. Тенденции развития процесса изомеризации в России и за рубежом / Е. А. Ясакова, А. В. Ситдикова, А. Ф. Ахметов // Нефтегазовое дело. – 2010. – № 3. – С. 4–8.

УДК 665.65

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА В БЕНЗИНАХ С ПОМОЩЬЮ АНТИДЕТОНАЦИОННЫХ ПРИСАДОК

Трапезников Е. А., обучающийся, zhenya.trapeznikov.99@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема способов повышения октанового числа, улучшающих детонационную устойчивость бензинов: исследован такой промышленный способ, как применение антидетонационных присадок.

Ключевые слова: октановое число, детонационная стойкость, антидетонационные присадки.

Сегодня одной из актуальных проблем химической промышленности является повышение качества российского бензина. Автомобильное топливо в России отстает по качеству от топлив, производимых в других странах. Международный центр качества топлива (International Fuel Quality Center, IFQC), исследовав сотню стран, поставил Россию по этому показателю только на 84-е место.

Октановое число (далее ОЧ) - это мера детонационной стойкости топлива, то есть способность противостоять самопроизвольному возгоранию и взрыву в камере сгорания двигателя при сжатии поршнем. Общеизвестно: чем выше октановое число, тем стабильнее работает двигатель, повышается его мощность, происходит меньший износ механизмов и расход топлива. В качестве показателя антидетонационных свойств бензинов было принято содержание изооктана в смеси с нормальным гептаном. Составляя смеси изооктана с нормальным гептаном в объемных процентах, получают эталонные смеси с детонационной стойкостью от 0 до 100 единиц. Привычная маркировка топлив (76, 80, 92, 95, 98) как раз соответствует их октановому числу. Нас заинтересовал вопрос о том, какие методы увеличения детонационной устойчивости

бензина существуют в настоящее время и как эта проблема может быть решена в дальнейшем.

Цель исследования: рассмотреть современный способ повышения октанового числа с помощью высокооктановых присадок в промышленных масштабах.

Методы исследования: аналитико-поисковый, описательный, сравнительный.

Основным методом повышения ОЧ является применение антидетонационных присадок. Существует множество присадок. Одной из них является присадка серии К-45. Она предназначена для улучшения экологических и эксплуатационных свойств автомобильных бензинов с помощью повышения октанового числа с одновременным обеспечением антикоррозионной эффективности. При введении в состав бензина до 20% поднимает октановое число на 25-27 пунктов.

В химическом производстве используют и такую присадку, как ЕВРО-5. Это малообъемная высокооктановая присадка, предназначенная для повышения антидетонационной стойкости бензинов, не содержит металлов, таких как Fe, Mg, Pb. Введение её в состав продукта до 1% от общего объема поднимает октановое число на 9 - 10 пунктов.

Присадка ксилидин-М – безметалльный антидетонатор аминного ряда, представляет собой диметиланилин (аминоксилон). Добавка в бензины 1% ксилидина от общего объема приводит к повышению значения ОЧ на 3 пункта (92=>95, 95=>98). Применение ксилидина в составе автобензинов допущено Госстандартом РФ в концентрации до 3%, что позволяет получить в диапазоне ОЧ 50-76 прирост на 12-15 пунктов. Продукт ксилидин-М является также ценным сырьем для синтеза стабилизаторов полимеризации каучуков.

Однако присадки имеют и отрицательные свойства. Некачественные, дешевые присадки имеют множество примесей, таких как сера, свинец, марганец, железо. Они отрицательно сказываются на качестве бензина, следовательно, и на работе двигателя. Приходится признать, что сегодня в нашей стране имеется большое количество суррогата бензина, который не соответствует ГОСТу по октановому числу и содержанию различных присадок в котором значительно превышает все допустимые концентрации.

В ходе нашего исследования мы рассмотрели промышленный способ увеличения детонационной устойчивости бензинов и пришли к выводу о том, что антидетонационные присадки – это эффективный способ увеличения октанового числа в бензине. Но сегодня существует множество суррогатов, не соответствующих стандартам. Мы считаем, что решению этой проблемы может способствовать контроль на местах производства и продажи продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов, А. М. Присадки и добавки. Улучшение экологических характеристик нефтяных топлив / А. М. Данилов. - Москва : Химия, 1996. - 230 с.
2. Костин, А. Популярная нефтехимия / А. Костин. - Москва : ЭКСМО, 2011. — 105 с.
3. Коханов, С. И. Разработка и исследование антидетонационных добавок для автомобильных бензинов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.07. / С. И. Коханов. - Москва, 2006. - 116 с.
4. Ластовкин, Г. А. Справочник нефтепереработчика / Г. А. Ластовкин, Е. Д. Радченко, М. Г. Рудин. - Ленинград : Химия, 1986. - 649 с.
5. Топливные присадки [Электронный ресурс] // ИХТЦ: химические технологии. - Режим доступа: <http://ect-center.com>.

УДК 622.276.63

КОМПЛЕКСНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОДБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО КИСЛОТНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЦЕОЛИТИЗИРОВАННЫХ ПОРОД ПЯКЯХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Халикова А. Р.¹, инженер-химик Отдела химико-аналитических исследований

Бармин А. В.², начальник отдела интенсификации добычи нефти

¹г. Когалым, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

«КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени

²г. Тюмень, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

«КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени

Аннотация. В работе представлены результаты лабораторных исследований образцов кислотных композиций различных товарных марок и производителей. По результатам проведенных исследований сделаны выводы о возможности применения представленных кислотных композиций на цеолитсодержащих породах Пякяхинского месторождения.

Ключевые слова. Пякяхинское месторождение, цеолиты, кислотная обработка, АСПО, органические кислоты, полярные и неполярные растворители.

Одним из эффективных и широко используемых методом воздействия на призабойную зону пласта для увеличения или восстановления продуктивности добывающих и приемистости нагнетательных скважин является кислотная обработка [1]. Она является

первым и весьма эффективным методом интенсификации добычи нефти и до настоящего времени находит промышленное применение на всех нефтяных промыслах. В то же время, при выборе кислотной композиции для обработки терригенного пласта зачастую не учитывается минералогический состав пород конкретного интервала воздействия и химические реакции, лежащие в основе этого процесса. В данной работе в качестве материала для воздействия кислот использовали цеолитизированные породы Пякяхинского месторождения. Наличие цеолитсодержащих минералов в породе-коллекторе требует особенных подходов в части планирования геолого-технологических мероприятий на этапах ремонта, освоения и эксплуатации скважин, что, в свою очередь, обусловлено необходимостью применения особого спектра технологий, поскольку характер процессов, происходящих в призабойной зоне, отличается от известных в Западно-Сибирском регионе [2].

В качестве объектов исследований были взяты кислотные композиции различного состава. Учитывая схожие характеристики объектов БУ₁₅¹, БУ₁₅², БУ₁₆ Пякяхинского месторождения (пластовая температура, минералогический состав объектов, химический состав воды и свойства нефти), для проведения исследований выбран объект БУ₁₅¹.

Состав №1 представляет собой смесь органических соединений – уксусной кислоты, метиловых эфиров уксусной и муравьиной кислот. Состав №2 содержит раствор уксусной кислоты с комплексом присадок и растворителей. Состав №3 отличается от двух предыдущих и представлен водно-органическим раствором фосфатов и смеси растворителей. Состав №4 состоит из многоатомных спиртов, анионного и неионногенного ПАВ, ингибитора коррозии и соляной кислоты. Состав №5 по химическому составу представляет собой водный раствор соляной (HCl), плавиковой (HF) кислот, метанола и модифицированных добавок для предотвращения процессов коррозии, солеотложения и образования эмульсий.

Испытания кислот проводили по методическому руководству ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «Лабораторные исследования кислотных составов». По причине неизвестности химического состава анализируемых композиций содержание кислоты определяли по общей кислотности в пересчете на соляную кислоту. Также проведены лабораторные исследования на определение растворимости керна и вторичное осадкообразование, межфазного натяжения на границе раздела фаз кислотный состав (продукты реакции кислотного состава с породой) – нефть, гелеобразование при контакте дезинтегрированного керна с исследуемыми составами.




По результатам проведенных лабораторных испытаний установлено, что кислотность составов (в пересчете на HCl) находится на уровне 2-13 %, максимальная кислотность зафиксирована у состава №1, минимальная – у состава №5. Все кислотные композиции имеют низкие показатели по

содержанию железа, КВЧ и скорости растворения стали; стабильны при пластовых температурах и при введении железа III. Отрицательным свойством состава состав №4 является несовместимость с пластовой нефтью рабочего и техногенных растворов. Остальные кислотные смеси полностью совместимы – эмульсообразование и осадкообразование отсутствуют. При пластовой температуре состав №5 несовместим с пластовой водой – наблюдается образование мелкодисперсного осадка через 3 часа термостатирования.

Из литературных источников известно, что процесс растворения цеолитсодержащих пород в кислых средах не исключает стадию образования геля. Результатом этого является коагуляция пор отработанных интервалов пласта и снижение проницаемости породы для пластовых флюидов [3]. С целью подтверждения или опровержения данного факта были проведены тесты на гелеобразование при контакте дезинтегрированного керна с исследуемыми составами в соотношении 1:1 при пластовой температуре (84 °С). В таблице приведены результаты оценки воздействия исследуемых кислот на дезинтегрированный керн.

Таблица 1

Влияние кислот на породу при температуре 84 °С

Кислота	Кислотность %	Время гелеобразования, ч		Фотоизображение
		Zeol=5 %	Zeol=15 %	
Состав №1	13,4	Нет гелеобразования		
Состав №2	12,4			
Состав №3	7,2			
Состав №4	12,0	1,25	0,83	
Состав №5	2,33	Нет гелеобразования	11	

Органические кислотные составы, представленные в данной работе, не образуют гелей при взаимодействии с породой в течение длительного времени (1 месяц), независимо от содержания цеолита. Состав №4 при взаимодействии с данными типами пород образует неподвижный гель. Состав №5 дает гелеобразование с цеолитизированной породой при

температуре 84 °С через 11 часов, с малоцеолитизированной породой (5 %) образование геля не установлено.

На заключительной стадии проведены тесты по растворению асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО). Известные к настоящему времени способы предотвращения образования АСПО в нефтяном оборудовании не позволяют полностью решить проблему и необходимость удаления отложений остается актуальной. Для выбора наиболее эффективных с химической точки зрения путей удаления отложений органических веществ, необходимо получение адекватного представления о составе, свойствах и строении этих отложений [4]. Предоставленные для анализа пробы АСПО были отобраны при разборе скребкового оборудования на глубине до 450 м со скважины АА. Отобранная проба на 95 % состоит из парафинов. В составе отложений также обнаружены вода, смолисто-асфальтеновые вещества и механические примеси. Исследуемые парафины представлены углеводородами n-строения C₂₀ и выше. Температура плавления АСПО составляет 55,8 °С. Для растворения АСПО использовали протестированные в «свободном объеме» кислотные составы, а также для сравнения состав №6 (представляет собой бинарный состав, который в результате химической реакции с активатором на базе органических кислот, выделяет большое количество тепла и азотсодержащего газа), полярные и неполярные растворители.

В результате проведенных лабораторных испытаний установлено, что в неполярных растворителях происходит полное растворение АСПО с образованием однородного раствора через 5 минут термостатирования. Частичное растворение пробы АСПО зафиксировано в керосине. Проба АСПО устойчиво к действию кислот и полярных растворителей. По мере прогрева в данных реагентах растворение и расплавление АСПО не происходит. В результате термовыдержки состава №6 зафиксировано расплавление АСПО на поверхности водной смеси, образование однородного раствора не зафиксировано.

По результатам проведенных лабораторных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Рекомендуются выполнение фильтрационных испытаний составов №1, №2 и №3, получивших положительные заключения по результатам исследований в свободном объеме;

2. Состав №4 по причине гелеобразования с цеолитсодержащей породой, несовместимости с пластовой нефтью и высокой скорости реакции с керном не рекомендуется к применению на цеолитизированных объектах Пякяхинского месторождения. Состав №5 не рекомендуется к использованию, так как несовместима с пластовой водой и образует прочные гели с высокоцеолитизированной породой.

3. Для очистки оборудования от АСПО рекомендуется использовать неполярные растворители. Возможно использование состава №6 для очистки НКТ и насосного оборудования в интервалах выпадения АСПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сургучев, М. Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов / М. Л. Сургучев. – Москва : Недра, 1985. – 307 с.

2. Вторичная цеолитизация пород-коллекторов Большехетской впадины и её влияние на оптимизацию ГТМ (на примере пласта БУ15 Пякяхинского месторождения) / Ю. В. Титов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2016. — № 8. – С. 16-19.

3. Особенности кислотного воздействия на гранитоиды фундамента месторождения Белый Тигр / Г. Н. Белянин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 1. – С. 44-51.

4. Марьин, В. И. Химические методы удаления и предотвращения образования АСПО при добыче нефти: аналитический обзор / В. И. Марьин, В. А. Акчурин, А. Г. Демахин. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2001. – 156 с.

УДК 621.793

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Шмидт В. В., канд. хим. наук доцент, доцент кафедры Общей и физической химии

Мартюк Д. Р., обучающийся, drmartyuk@gmail.com

Жернакова Д. А., обучающийся, zhernakova.daria@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Проблема вредных выбросов актуально и для гальванотехники. На сегодняшний день вредные выбросы предприятий, которые производят изделия с гальваническими покрытиями, превышают разрешенные. Чтобы уменьшить вредные выбросы в атмосферу и гидросферу, необходимо внедрить новые технологические процессы, отказаться от использования высокотоксичных реагентов. В данной работе рассмотрены вопросы вредных выбросов производств, пути решения данной проблемы, сделаны выводы.

Ключевые слова: электролит, гальваническое покрытие, легирование, хромирование, сточные воды.

Металлообработка получила широкое применения практически во всех отраслях промышленности. Заказчик на сегодняшний день требует определенные физические и химические свойства материалов, удовлетворяющих условиям использования в конкретной отрасли промышленности.

Гальваническое покрытие позволяет получить материал с повышенными прочностью, твердостью. Использование двухкомпонентных и трехкомпонентных гальванических покрытий дешевле аналогичных легированных металлов. Например, на предприятиях по переработке нефти и газа используются трубы с гальваническими покрытиями для увеличения срока службы оборудования и повышения эксплуатационных свойств оборудования. Применение легированных труб ведет к удорожанию всего оборудования в несколько раз, что делает все производство нерентабельным.

Основные требования к гальваническим покрытиям- это экологичность процесса. Все технологические процессы, проводимые на гальванических предприятиях, устарели. Многие предприятия не соответствуют экологическим требованиям. Основной недостаток- высокое содержание вредных веществ в сточных водах гальванических производств. Содержание хромовых соединений может превосходить предельно допустимую концентрацию(ПДК) в несколько раз.

На сегодняшний день с целью уменьшения вредных выбросов на гальванических производствах внедряют многоступенчатые системы фильтрации сточных вод, используют менее токсичные реагенты, внедряют технологические процессы с низкими параметрами (температура, сила тока и т.д.)

Количества выбросов в водоемы токсикантов по данным о предельно допустимых концентрациях достаточно, чтобы сделать небезопасным весь сток рек России за год. Перерабатывание и захоронение данных отходов являются наибольшими проблемами всех гальванических производств. Предельно допустимые концентрации металлов составляют 0,01 мг/л и менее. В данном случае возникает вероятность возникновения экологической катастрофы от гальванического производства. На данный момент в гальванических цехах получают сточные воды, которые содержат примеси металлов(Ni, Fe, Cr, Co и др.) и гидроксиды этих катионов(в виде коллоидных частиц и суспензий), а также ПАВ и анионы(сульфатов, хлоридов и др.). Не допустить попадания вредных веществ в водоемы возможно с помощью повышения уровня очистки или снижения водоотведения.

Наиболее перспективными методами снижения загрязнений гальваническими производствами вод можно считать: снижение водоотведения, локальная регенерация промывных растворов, обработка смешанных стоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмидт, В. В. Разработка водосберегающей технологии для гальванического процесса / В. В. Шмидт, Д. Р. Мартюк // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Международной научно-практической конференции. - Тюмень, 2016. – Т. 3. – С. 319–321.
2. Ваграмян, А. Т. Методы исследования электроосажденных металлов / А. Т. Ваграмян, З. А. Соловьева. – Москва : изд. АН СССР, 1980 – 294 с.
3. Особенности микрораспределения электролитических сплавов и их компонентов / В. И. Харламов [и др.] // Электрохимия. – 2001. – Т. 37, № 7. – С. 780 – 788.
4. Шеметов, В. Ю. Отходы гальванического производства / В. Ю. Шеметов // Экология и промышленность России. – 1998. – № 8. – С. 6 – 10.

УДК 665.6.7

ТЕХНОЛОГИЯ GTL

Шуршилина Т. В., бакалавр, tanya.shurshilina.95@bk.ru

Савченков А.Л., канд. техн. наук, доцент, savchenkoval@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье представлен обзор производства синтетических топлив методом Фишера – Тропша. Современная GTL-технология дает возможность перерабатывать природный газ в разнообразные продукты - от олефинов до твердого парафина. Главным продуктом является синтетическая дизельная фракция, по эксплуатационным и экологическим параметрам превосходящая нефтяное дизельное топливо.

Ключевые слова: переработка природного газа, конверсия, GTL-технология, синтез Фишера-Тропша, катализатор.

Первые предпосылки для развития технологии GTL появились более века назад, в 1902 году лауреат Нобелевской премии по химии Поль Сабатье со своим учеником Жаном Батистом Сандераном синтезировали метан из смеси угарного газа и водорода под действием порошкообразного никеля. А позднее советский химик-технолог Егор Орлов из такой же смеси, под действием никеля и палладия выделил этилен, тем самым обосновав возможность получения высших углеводов. Но усовершенствовали этот процесс до коммерческого воплощения немецкие химики Франц Фишер и Ганс Тропш, из института имени Кайзера

Вильгельма по исследованию угля. В 1926 году были опубликованы их инновационные труды «О прямом синтезе нефтяных углеводородов при обыкновенном давлении». Описанная ими работа была названа в честь её создателей «процесс Фишера-Тропша».

Моторное топливо, как сырьё для производства синтетических моторных масел можно синтезировать двумя разными способами. Для любого из них первой стадией будет являться конверсия метана в синтез-газ. Дальнейшее производство углеводородов возможно из синтез-газа реакцией Фишера-Тропша.

Метан, как известно, входит в состав природного и попутного нефтяного газа. Однако, помимо основного компонента метана в газе содержатся посторонние соединения. Самым эффективным способом очистки природного газа, как показывает мировая практика, являются химическая и физическая абсорбции.

Конверсия метана в синтез-газ возможна тремя методами:

- 1) паровая конверсия;
- 2) парциальное окисление кислородом;
- 3) углекислотная конверсия.

У паровой конверсии и парциального окисления метана есть значительный недостаток, который заключается в большой стоимости перегретого водяного пара и кислорода. Углекислотная конверсия метана из-за несовершенства существующих стабильных катализаторов не была реализована в промышленном применении GTL- технологии.

Синтез Фишера-Тропша – каталитический процесс, протекающий в присутствии металлов VIII группы, преимущественно кобальта или железа. В результате реакции образуются в основном парафины, олефины и кислородсодержащие соединения, то есть из монооксида углерода и водорода образуются углеводороды разной молекулярной массы и разного класса органических веществ. На получение различных продуктов синтеза Фишера-Тропша действуют химико-физические параметры: происхождение металла-катализатора, размер его частиц, температура, давление, соотношение оксида углерода и водорода, объёмная скорость газа и другие условия проведения реакции.

Самыми распространёнными катализаторами производства углеводородов из синтез-газа считаются кобальтовые системы, которые позволяют избирательно получать парафины. Катализаторами синтеза также являются металлы VIII группы. Наибольшую каталитическую активность проявляют: рутений, железо, кобальт, никель. Другие металлы VIII группы (иридий, палладий, платина, осмий, родий) проявляют незначительную активность.

Однако последние результаты показывают, что активность кобальта выше, чем железа, так как только эти два металла использовались на GTL-установках синтеза углеводородов. Чтобы создать эффективный

катализатор синтеза углеводородов, необходимо уделять большое внимание подбору носителя (оксид алюминия, диоксид кремния или кизельгур) и проведению тщательной термообработки катализатора. Эффективное воздействие высоких температур на активную часть катализатора, приводит к совершенствованию активной части катализатора с носителем. Если видоизменить катализатор с помощью внедрения в его состав модифицированных оксидных добавок, то можно повысить селективность реакции при получении жидких углеводородов.

На сегодняшнее время в мире известно множество крупнейших компаний и объединений, занимающихся проектированием, созданием и усовершенствованием производства для получения синтетического жидкого топлива, некоторые из них: «Sasol», «Shell», «Exxon Mobil», «Syntroleum», «Rentech», «BP-Davy», «Conoco», «JOGMEC» и др.

Концерн «Shell» построил самый большой завод в мире по производству синтетических топлив – «Pearl GTL» в Катаре. Завод производит нефть (лигроин), n-алканы, базовые смазочные масла, авиационное топливо и газойль.

Весь технологический процесс синтеза жидких углеводородов из природного газа на заводе «Pearl GTL» представлен в три этапа. На входе природный газ, который поступает с месторождения «Северное поле» очищают от серы, газового конденсата и этана. Далее парциальным окислением метана при температуре 1500 °С получают синтез-газ. В результате реакции получения синтез-газа выделяется большое количество тепла и образуется достаточно пара, предназначенного для вращения турбин генераторов и получения электроэнергии. На втором этапе синтез-газ поступает в реактор синтеза, где молекулы соединяются в длинные углеводородные цепочки под воздействием катализаторов. На выходе второго этапа в качестве основного продукта синтеза образуются парафины. На третьем этапе парафины подвергаются гидрокрекингу, в результате которого длинные молекулы расщепляются на более короткие.

Разумеется, все эти продукты можно извлечь и из нефти, но синтез из газа имеет ряд серьезных ощутимых достоинств. Во-первых, чистота синтетических углеводородов намного выше минеральных. Во-вторых, разведанные мировые запасы газа превосходят известные запасы нефти более, чем в десять раз, так что даже если мировое сообщество исчерпает запасы нефти, всегда есть альтернатива использования синтетических аналогов топлива, масел и сырья для производства различных пластиков. В частности, на «Pearl GTL» синтезируют авиационное топливо, которое используется для заправки авиалайнеров «Qatar Airways» и военной авиации Катара.

Из чего можно сделать вывод, на сегодняшний день получение синтетических жидких продуктов с использованием синтеза Фишера-Тропша образовалось в быстро развивающуюся отрасль, которая включает

разнообразное количество синтетических топлив, пользующихся немалым спросом на мировом рынке. Кроме того, быстрое истощение природных ресурсов и необходимость их рационального использования ставят синтез Фишера-Тропша вновь одним из приоритетных направлений развития современной и будущей нефтегазохимической промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. GTL-производство: основы и перспективы / И. Г. Лачугин [и др.] // Химия. Биология. Фармация. – 2011. – № 2. – С. 27-36.
2. Крылова, А. Ю Катализаторы синтеза Фишера-Тропша – ядро стратегий получения синтетических жидких топлив / А. Ю. Крылова // Кинетика и катализ. - 2012. - Т. 53, № 6. – С. 790-795.
3. Выбор схемного решения GTL-процесса для технологии ИНХС РАН / С. Н. Хаджиев [и др.] // Нефтехимия. - 2016. - Т. 56, № 6. - С. 567–577.

УДК 622.276.63

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ РЕЦЕПТУР СПЕЦИАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА ИЗ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ РАЗНОСТЕЙ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Яковенко Л. Ф., инженер 1 категории Отдела гидравлического разрыва пластов, YakovenkoLF@tmn.lukoil.com
г. Тюмень, Филиал ООО "ЛУКОЙЛ-Инжиниринг" "КогалымНИПИнефть"
в г. Тюмени

Аннотация. Проведен сравнительный анализ эффективности применения стандартных составов для обработки призабойной зоны на месторождениях всех территориально-производственных предприятий ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» и составов с добавлением изопропилового спирта. В процессе анализа выявлена высокая эффективность от обработок низкопроницаемых коллекторов составами с добавлением изопропилового спирта.

Ключевые слова: остаточные запасы, низкопроницаемый коллектор, обработка призабойной зоны пласта, изопропиловый спирт.

В данной работе, на основании обзора литературных источников, показано текущее состояние проблемы, связанной с особенностями фильтрации сложных систем нефть – вода в низкопроницаемых пластах,

возможные последствия интенсифицирующего воздействия на околоствольную зону в скважинах, эксплуатирующих такие пласты и влияние негативных факторов на добычные возможности таких скважин. Рассмотрен опыт применения обработок призабойной зоны пласта кислотными составами с добавлением изопропилового спирта на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

В связи с ухудшением структуры остаточных извлекаемых запасов и увеличением их доли в низкопроницаемых коллекторах, в последние годы нефтяные компании все больше внимания уделяют развитию технологий интенсификации разработки залежей с низкопроницаемыми коллекторами [1]. Как показывает практика эксплуатации низкопроницаемых пластов, многие процессы здесь происходят по другим физическим законам, относительно процессов, происходящих в средне- и высокопроницаемых пластах. С уменьшением значения проницаемости сокращается среднее значение диаметра капилляров пористой среды, соответственно увеличиваются капиллярные силы, удерживающие воду в поровом пространстве [2]. В процессе кислотных обработок после реакции кислоты с породой, продукты реакции занимают мелкие поры и удерживаются капиллярными и межмолекулярными силами, блокируя поры, по которым в дальнейшем должна происходить фильтрация нефти [3]. При этом, фазовая проницаемость для нефти снижается, практически, до нуля. Для возможности движения нефти к стволу скважины необходимо создать эффективные начальные градиенты давления, превышающие капиллярные силы, удерживающие в порах продукты реакции. В большинстве случаев, после кислотных обработок с применением традиционных кислотных композиций, породы с низкой проницаемостью практически не вовлекаются в разработку, так как блокируются водой (продуктами реакции кислоты с породой). Для фильтрации пластового флюида в водонасыщенных коллекторах данного типа необходимо создавать градиенты давления в околоствольной зоне пласта, достигающие до 40 МПа/м [3].

Одним из способов, повышающих эффективность кислотных ОПЗ, является удаление с поверхности породы (удаление из капиллярных каналов фильтрации) рыхлосвязанной воды за счет снижения капиллярных и межмолекулярных сил. Отечественными исследователями установлен факт повышения эффективности обработок после введения в кислотные составы полярных растворителей: алифатических спиртов C_1-C_8 , бутиловых эфиров, диполиспиртов, полигликолей и глицерина, изопропилового спирта [4].

Еще более эффективно использование так называемых взаимных растворителей – веществ, неограниченно растворяющихся как в воде, так и в углеводородах (например, монобутилового эфира, этиленгликоля, смеси изопропилового спирта и бутилцеллозоля и др.). Такие реагенты,

помимо осушающей способности (ликвидации водной блокады), имеют ряд дополнительных положительных свойств: способны разрушать водонефтяные эмульсии, снижать поверхностное натяжение на границе реагирующий раствор – порода – нефть, способствуют растворению и легкому удалению продуктов реакции из пласта. Указанные факторы улучшают условия контактирования кислоты и продуктов реакции с породой, усиливают равномерность и увеличивают глубину обработки, что в совокупности повышает ее эффективность [5]. Исследованиями установлено, что дополнительное введение полярных неэлектролитов – спиртов обеспечивает усиление «расклинивающего эффекта» на АСПО, усиление капиллярной пропитки водонасыщенных каналов [6,7]. Одна из основных целей дополнительного введения полярных неэлектролитов заключается в облегчении их проникновения вглубь водосодержащих пород с последующей облегченной диффузией углеводородных молекул и большеобъемных молекул ПАВ. Отмечается эффективность воздействия от добавления спиртов в качестве модификаторов к кислотным растворам. Спирты имеют в составе функциональные группы OH , которые растворяясь в водной и углеводородной фазах, понижают межфазное натяжение на границе раздела фаз. Закачиваемые в пласт модифицированные кислотные растворы, понижающие межфазное натяжение на границе раздела фаз нефть-кислотный раствор, нефть-продукты реакции, с более низкой плотностью и вязкостью, чем у пластовой нефти, смешиваются с минерализованной водой и углеводородной фазой, легко проникают вглубь породы и легко извлекаются обратно.

Так как к настоящему времени основные объемы активных запасов, сосредоточенных в высоко- и среднепроницаемых коллекторах на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», выработаны на 60-70 %, все больше увеличивается доля трудноизвлекаемых запасов, сосредоточенных в низкопроницаемых интервалах и пластах, то ожидается, что в ближайшей перспективе основными объектами при выполнении ОПЗ кислотными составами будут именно такие объекты.

Начиная с 2006 года и по сегодняшний день, по ряду залежей таких месторождений как Ватъеганское, Повховское, Южно-Ягунское, Кустовое и др. при интенсификации притока, наряду с традиционными составами, применялись обработки с добавлением к традиционным составам нефраса и изопропилового спирта. С целью оценки влияния этих добавок на эффективность интенсифицирующих обработок и подтверждения вышеизложенных аргументов о необходимости применения для воздействия на низкопроницаемые пласты специальных составов были выбраны все операции, в которых при ОПЗ в состав композиций ОПЗ включались нефрас и изопропиловый спирт. Все обработки были разделены на две категории: в пластах с проницаемостью выше 50 мД и в

пластах с проницаемостью ниже 50 мД. Обработки пластов с проницаемостью ниже 50 мД нами рассматриваются как интенсификация притока в низкопроницаемых пластах. Все обработки были распределены по принадлежности к одинаковым объектам разработки без учета месторождения.

Средние геолого-физические характеристики объектов воздействия для объектов с традиционными обработками и обработками с добавлением ИПС близки. Дополнительная добыча по скважинам, обработанным составами с добавлением изопропилового спирта в 1,5-3,2 раза выше, чем по скважинам, обработанным составами без добавок. Несколько выше и средняя длительность эффекта. В результате анализа было установлено, что у обработок с добавлением спиртов по всем позициям получены и большие приросты дебитов нефти.

Следует отметить, что при обработках без добавления спиртов применялись, в основном, интенсифицирующие составы «Алдинол-20» и КСПЭО. Спирто-кислотные обработки включали закачку в пласт тех же составов «Алдинол -20» и КСПЭО с продавливанием их в пласт 0,5-3,0 м³ ИПС. В отдельных случаях объемы ИПС достигали 12 м³. Иногда спирты в объеме 0,5-3,0 м³ закачивались в пласт перед основным реагентом. В данных случаях спирты играли роль органических растворителей АСПО, осушающих агентов за счет удаления из ПЗП рыхлосвязанной воды и таким образом увеличивали фазовую проницаемость для нефти, а также модификаторов кислотных составов, снижающих межфазное натяжение на границе раздела фаз продукты реакции кислоты с породой – нефть.

Анализ экономической эффективности проведенных мероприятий показал, что обработки призабойной зоны с добавлением к кислотным составам изопропилового спирта позволяют получить больший объем дополнительной добычи и положительное значение NPV, в сравнении с обработками традиционными кислотными составами.

В результате выполненных исследований установлено, что для интенсификации притока в низкопроницаемых коллекторах месторождений Западной Сибири необходимо применять кислотные композиции, содержащие в своем составе спирты, растворители, ПАВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение новых технологий ГРП с пропантом в карбонатных коллекторах верейского горизонта среднего карбона на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами на территории Республики Татарстан / Р.Ш. Тахаутдинов [и др.] // Время колтюбинга. Время ГРП. – 2015. – № 1 (051). – С. 44-54.

2. Тульбович, Б. И. Методы изучения пород-коллекторов нефти и газа / Б. И. Тульбович. – Москва : Недра, 1979. – 199 с.

3. Шпуров, И. В. Обоснование граничного значения проницаемости коллекторов при их дифференциации на классы с высокими и низкими фильтрационными потенциалами / И. В. Шпуров, А. В. Тудвачев // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 9. – С. 73-77.

4. Сафин, С. Г. Особенности технологии комплексной обработки призабойной зоны недонасыщенных нефтью пластов. РНТС / С. Г. Сафин, С. С. Сафин // Нефтепромысловое дело. – 1994. – № 2. – С.13-14.

5. Вопросы интенсификации добычи нефти в полимиктовых высокоглинистых коллекторах / В. В. Шелепов [и др.] // Нефть России. – 1999. – № 12. – С.13-14.

6. Глущенко, В. Н. Функция полярных неэлектролитов в составе растворителей АСПО / В. Н. Глущенко, В. Г. Рябов, И. А. Юрпалов // Химическая промышленность. Современные задачи техники, технологии, автоматизации, экономики: тез. докл. межрегион. науч.-техн. конф. – Н.Новгород, 1999. – С.20-21.

7. Рогачев, М. К. Новые химические реагенты и составы технологических жидкостей для добычи нефти / М. К. Рогачев. – Уфа: Гилем, 1999. – 75 с.

УДК 620.98

**ВАРИАНТЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ**

Бачинин Д. Ф., бакалавр, danil.bachinin@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье приведены географические и климатические характеристики полуострова Ямал, а также энергетические проблемы данного региона. На основе этих данных были определены перспективные пути решения проблемы бесперебойного энергообеспечения полуострова Ямал.

Ключевые слова: полуостров Ямал, бесперебойное энергообеспечение, северный завоз, энергосистема

Ямал — полуостров на севере Западной Сибири, на территории Ямало-Ненецкого автономного округа России. Длина полуострова — 700 км, ширина — до 240 км. Омывается Карским морем и Обской губой. Рельеф Ямала исключительно ровный, перепады высот не превышают 90 м. Средняя высота полуострова около 50-ти метров. Климатические условия достаточно суровые. На Ямале распространен субарктический, а на севере — арктический климат. Средние температуры января составляют от -23 до -27 градусов по шкале Цельсия, июля — от $+3$ до $+9$. Количество осадков невелико: около 400 мм/год. Толщина снежного покрова составляет в среднем 50 см. Несмотря на всё это регион является достаточно перспективным в освоении. Ведь на Ямале сосредоточено около 20 % российских запасов природного газа. На полуострове и прилегающих акваториях открыто 11 газовых и 15 нефтегазоконденсатных месторождений, разведанные и предварительно оценённые запасы газа которых составляют порядка 16 трлн м^3 , перспективные и прогнозные ресурсы газа — около 22 трлн м^3 . Запасы конденсата оцениваются в 230,7 млн тонн, нефти — в 291,8 млн тонн.

При крупномасштабной добыче и транспортировке газа прирост нагрузки составит не менее 500 МВт. Сейчас суммарная мощностей электростанций энергосистемы ЯНАО составляет 1640 МВт. Кроме того, существует большое число автономных источников энергоснабжения (в основном дизельные электростанции (ДЭС)) работающих на привозном топливе, с суммарной мощностью свыше 3 МВт. Для производства электроэнергии ежегодно завозится 5-6 млн т. дизельного топлива. Приоритетными энергопотребителями в таких условиях являются: инфраструктурные объекты, связанные с разведкой и освоением

нефтегазовых (в т. ч. морских) месторождений, подводные добывающие комплексы, топливный промысел с наземным закачиванием, заводы сжиженного природного газа (СПГ), объекты СМП.

На Ямале наиболее актуальными являются проблемы зависимости энергосистемы от «северного завоза» и отсутствие энергетической инфраструктуры между субъектами электроэнергетики. У первой проблемы есть как минимум три решения.

Во-первых, АЗРФ имеет значительный ветропотенциал со средними скоростями ветра более 5 м/с на высоте 10 м и удельной плотностью свыше 400 Вт/м². В настоящее время общая мощность ВДЭС и ВЭС прибрежных районов составляет около 100-110 МВт, что уже сокращает завоз дизельного топлива на 130 тыс. т в год. Помимо положительного влияния на экологию возобновляемые источники энергии (ВИЭ) требуют малых начальных капиталовложений: около 40-60 тыс. руб./кВт. Но коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) зависит от климатических условий региона, так как сезонные проблемы не позволяют вести непрерывную эксплуатацию ВИЭ.

Во-вторых, перспективным является использование добываемого СПГ в качестве топлива. Так, например, проект «Ямал-СПГ» также обеспечивается за счет природного газа. Автономное энергообеспечение за счет СПГ требует технического переоснащения для хранения газа и строительства специальных малых (2-20 тыс. м³) газозовов в ледовом исполнении. Кроме того, необходим промышленный серийный выпуск модельных энергогенерирующих установок разной мощности, заблокированных с емкостями хранения.

В-третьих, как вариант, можно рассмотреть уже используемый способ энергообеспечения, а именно ГТЭС (газотурбинная электростанция). Данные электростанции способны работать на природном газе и попутном нефтяном газе. К преимуществу ГТЭС можно отнести высокую надёжность, среднее, длительность работы основных узлов без капитального ремонта составляет до 100-130 тыс. часов, КПД самой газотурбинной установки составляет порядка 51%, а при утилизации уходящих газов, общий КПД достигает уже 93%, Газотурбинные электростанции довольно экологичны, ГТЭС могут работать в полностью автоматическом режиме, а возможность полной диагностики состояния оборудования или основных узлов станции, простота управления и, соответственно, минимальное количество обслуживающего персонала делают их наиболее оптимальным решением в самых различных ситуациях. Стоит отметить, что применение ГТЭС в условиях Крайнего Севера довольно успешно. Например, Новопортовское, Мессояхское месторождения обеспечиваются электроэнергией за счёт данных электростанций.

В-четвёртых, предлагается идея инновационной атомной энергетики малых мощностей. Для нефтегазовых промыслов представлен вариант системы энергоснабжения, которая будет учитывать, как экстремальные условия эксплуатации, так и экологические риски. В морскую инфраструктуру АЗРФ кроме атомного ледокольного флота также войдут плавучие атомные тепловые электростанции (ПАТЭС). В такой системе должен быть реализован замкнутый управляемый жизненный цикл, обеспеченный единым комплексом мониторинга.

Решение второй проблемы предлагается директором АО «ТюменьЭнерго» Сергеем Юрьевичем Савчуком. По его словам, необходимо создать рабочую группу по освоению Арктической зоны, а также единую концепцию по развитию электроэнергетики региона. Важна координация инвестиционных программ компаний по электроснабжению АЗРФ. В регионах присутствия планируется ввести более 2000 МВА трансформаторной мощности и построить свыше 2500 км линии электропередач к 2022 г.

Решение энергетической проблемы освоения полуострова Ямал – трудоемкий процесс, требующий значительных денежных вложений и инновационных подходов, но при создании устойчивой энергетической инфраструктуры в регионе вопрос бесперебойного энергообеспечения данного региона будет решен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арктика: общая характеристика, информация, сведения [Электронный ресурс] // Все страны регионы и континенты мира. – Режим доступа: <http://www.world-globe.ru/regions/arctic.html>
2. Арктика – территория энергетики [Электронный ресурс] // ЭкспертРу. – Режим доступа: <http://expert.ru/ural/2017/42/arktika---territoriya-energetiki.html>
3. Газотурбинные электростанции (ГТЭС) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.gigavat.com/pgu_gtes.php#
4. Малышева, М. Запасы, которые трудно извлечь [Электронный ресурс] // Газета.Ru. – Режим доступа: https://www.gazeta.ru/science/2012/05/26_a_4602393.shtml.
5. Моргунова, М. О. Энергоснабжение российской Арктики: углеводороды или ВИЭ? / М. О. Моргунова, Д. А. Соловьев // Энергетическая политика. – 2016. – № 5. – С. 44-51.
6. Мегаватты из воздуха [Электронный ресурс] // Файл-РФ.ru. - Режим доступа: <http://file-rf.ru/analytics/157>.
7. Ямал (полуостров) [Электронный ресурс] // Планета Земля-География-История-Природа. – Режим доступа: <http://geosfera.org/evropa/russia/2318-yamal.html>.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ. РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Брехов П. Я., бакалавр, brekhovpya@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Тема ресурсов, применяемых в качестве возобновляемых источников для воспроизводства необходимой и достаточной энергии (ВИЭ), крайне актуальна во всем мире. Одним из данных видов ресурсов является энергия ветра. В последние годы во многих странах действовали и действуют специальные программы на государственном уровне, поддерживающие развитие технологии ВИЭ. Но, вопреки высокому уровню интереса к применению ВИЭ, возникают вопросы о целесообразности развития данных технологий. Поэтому главной целью данной статьи является определение необходимости и рентабельность устройства технологий возобновляемых источников энергии на объектах нефтегазодобычи, на примере ветровых электростанций (ВЭС).

Данная цель достигается путем решения следующих задач, таких как: рассмотреть особенности устройства и эксплуатации ВЭС, оценка преимуществ и недостатков данной технологии и определение экономической эффективности данной технологии.

Ключевые слова. Возобновляемые источники энергии, ветровая энергия, автономный источник питания, рентабельность, целесообразность, нефтегазодобыча, климатические условия, электроэнергия.

Ветряная электростанция, или по-другому инвертор, представляет следующий принцип действия. Лопасти ветряного колеса, вращаясь под действием силы ветра, передают крутящий, передают крутящий момент на вал генератора при помощи системы передач. При этом величина производимой энергии прямо пропорциональна величине диаметра ветрового колеса и площади его лопастей. После этого «первичная» энергия поступает в инвертор, который в свою очередь, преобразовывает электрический ток в пригодный для эксплуатации. И направляет либо в аккумуляторы резервного питания, либо на прямую к источнику потребления. Однако количество вырабатываемой энергии зависит не только от габаритных размеров, но и от многих других факторов, таких как: высота ветрового колеса относительно уровня земли, скорости ветра, особенностей ландшафта, плотности воздушных масс и др. Внешне ветряной генератор имеет три вида:

- барабанные;
- карусельные;
- пропеллерные. Вращающийся вал ориентирован горизонтально по направлению ветра. [1] Лопасть-стабилизатор с противоположно стороны от колеса обеспечивает перемещение всей конструкции по направлению

движения воздушных масс. Выработка электроэнергии начинается при скорости ветра от 2 м/с, оптимальная скорость ветра для выработки необходимого количества электроэнергии зависит от размеров, типа ветряно электростанции, но в среднем варьируется от 6-11 м/с. Многие регионы России обладают хорошим энергетическим потенциалом. Значительная часть регионов РФ имеют среднегодовую скорость ветра более 5 м/с. К таким регионам можно отнести север Западной и Восточной Сибири, Дальний восток, побережье и острова Северного ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки.

В данное время изучена возможность применения ветровой энергетики, основными потребителями которой, на объектах добычи, являются:

- электродвигатели различного рода применения: погружных насосных установок нефтяных и водозаборных скважин, установок для систем подготовки и транспортировки добытого сырья и т.п.

- системы электрообогрева;

- базы ремонта, жилые вахтовые поселки.

Как правило добывающие компании выставляют очень высокие требования по надежности и бесперебойности так как не допускается остановка и нарушение технологического процесса, на восстановление которого при перебоях электроснабжения необходимы большие временные затраты, то может привести к остановке добычи и к недоотпуску добытого сырья.

По причине того, что основные месторождения нефти и газа в России сконцентрированы в условиях крайнего севера преимущества и недостатки составлены с учетом данного фактора.

Преимущества применения ветроэнергетических установок:

- при снижении температуры воздуха мощность ветровых электростанций возрастает.

- холодные воздушные массы значительно плотнее, чем теплые, в следствии чего возрастает КПД.

Помимо этого, необходимо отметить общие преимущества ВЭС:

- экологическая безопасность ветрогенераторных станций, по расчетным данным ветрогенератор имеющий мощность 1 МВт сокращает ежегодные выбросы в атмосферу на 1600 тонн углекислого газа, а также множества других газов, получаемых в результате сгорания.[1]

- бесплатный «поставщик» энергии;

- источник энергии неисчерпаем.

Но, кроме этого, у данной технологии есть ряд серьезных недостатков, которые ставят под вопрос эффективность применения данного источника энергии:

- ветер крайне нестабилен, из-за постоянных ослаблений или усиления потоков воздуха. Этот фактор крайне усложняет выработку

постоянной электроэнергии. Устранение этого недостатка – основная задача при создании ВЭС.

- в холодный период года при высокой влажности воздуха возможно возникновение ледяных наростов на лопастях, при сильном ветре ледяные осколки разлетаются, поэтому опасная зона вокруг установки ровняется 150 метрам. Поэтому необходимо эксплуатировать территорию значительную по площади, которая на много превышает площадь обычных источников питания. К примеру удельная площадь для ветровых электростанций может достигать 1 га/МВт, а для более традиционных источников питания, газопоршневых или газотурбинных электростанций этот показатель равняется 0,06-0,08 га/МВт.

- эксплуатация ветровых электростанций в качестве основного источника электроснабжения потребует дополнительных затрат на утилизацию попутного газа, который предусматривается для выработки электричества на газовых электростанциях.

На сегодняшний день удельная стоимость ветровой электростанции соизмерима с традиционными источниками электроэнергии. Так стоимость электростанции на основе альтернативных источников энергии составляет порядка 120 млн руб/МВт, в свою очередь строительство ГТЭС равняется 110 млн руб/МВт. Но при приблизительно равно удельно стоимости значительное удорожание ветряных электростанций возникает в результате того, что количество оборудования необходимое для воспроизводства данной мощности на много превышает этот показатель по сравнению с традиционными источниками энергии.

Поэтому в настоящий момент эксплуатация ветровых электростанций в качестве опорного источника питания объектов нефтяных и газовых месторождений по экономическим соображениям является не рентабельным.

Одним из экономически целесообразных видов применения можно рассмотреть, эксплуатация ВЭС небольших мощностей для автономного снабжения электричеством линейных объектов до 10 кВт. Примером подобных потребителей может служить:

- станции связи
- станции узлов запорной арматуры на трубопроводе и т.п.

Как правило электроснабжение подобных механизмов производится через высоковольтные линии от ближайшей ТЭЦ в районе с установкой трансформаторных подстанций (КТП). [2] Поэтому длина таких линий равна длине магистралей трубопроводов. При применении автономных источников питания (АИП), в данном случае ветреных электростанций, необходимость устройства, подобных высоковольтных линий, исчезает. Потому как АИП устраиваются в непосредственной близости от электроприемников. Как следствие происходит значительная экономия финансовых ресурсов. [3]

Но и у данного направления развития ВЭС имеются ограничения. Они связаны с суровыми климатическими условиями. В некоторых регионах вечномёрзлых грунтов трубопроводы предусматривается устраивать над землей. А мощность, требуемая для системы электропрогрева может достигать нескольких мегаватт. При данном случае более разумно применять централизованную систему электроснабжения с высоковольтной ВЛ.[3]

В наше время стоимость АИП на базе ВЭС при генерируемой мощности более 1 МВт крайне преобладает над классическими источниками энергии.

Поэтому самым экономически привлекательным вариантом развития ВЭС является, устройство ВЭС для обеспечения электроэнергией второстепенной инфраструктуры трубопроводов, не предполагающих электропрогрев и проложенные под землёй. То есть для удаленных объектов малой мощности.

При непрерывном развитии и улучшении ВИЭ, необходимо непрерывное отслеживание данного направления энергетики, и постоянное обновление экономической оценки подобного рода установок на объектах добычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : справочник / Ю. Д. Сибикин – Изд.1-е – Москва : КНОРУС, 2012. – 263 с.
2. Григораш, О. В. Автономные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии / О. В. Григораш, П. Г. Корзевников // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. - № 93. – С. 646-658.
3. Туровин, О. А. Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании / О. А. Туровин, Е. Н. Огнев, А. Е. Кончев // ПРОНЕФТЬ. – 2017. - № 2 (4). – С. 7-10.
4. Testing the design of technical solutions for liquid hydrocarbon wastes fire disposal / S. V. Dolgov [oth.] // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 91. – P. 108-113.
5. Mathematical model of stacked one-sided arrangement of the burners / J. A. Oraz [oth.] // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 92. – P. 234-239.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Валуженич А. А., магистрант, anton08.07@mail.ru
г. Омск, Омский государственный технический университет

Аннотация. В зависимости от условий (режимов) перекачки на собственные нужды (прежде всего, топливный газ) тратится до 10 – 15 % транспортируемого газа. Одним из методов снижения расхода газа на собственные нужды компрессорных станций является оптимизация режимов работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА), которые определяются как параметрами работы соответствующего компрессорного цеха и техническим состоянием элементов ГПА

Ключевые слова: оптимизация, магистральный газопровод, моделирование

Природный газ с каждым годом становится все более значимым энергоносителем в мировом энергетическом балансе. Спрос на него растет и будет продолжать расти в ближайшие.

В современное время можно выделить следующие основные функции производственно-диспетчерской службы газотранспортного структурного подразделения:

поддержание заданного технологического режима транспорта природного газа;

контроль величин и изменений эксплуатационных параметров технологического оборудования компрессорных станций (далее – КС) и газораспределительных станций (в том числе с использованием систем телемеханизации);

контроль изменения и величин эксплуатационных параметров линейной части (в том числе с использованием систем линейной телемеханизации);

оперативное обнаружение аварийных (нештатных) ситуаций на газопроводах и их своевременная локализация;

В компрессорной станции главной задачей является контроль и анализ режимов работы газоперекачивающих агрегатов, установок охлаждения природного газа и поддержанию такого режима работы, который обеспечит требуемые параметры транспорта газа при минимальных затратах газа на собственные технологические нужды. Контроль за режимами работы ГПА сводится к анализу режимов работы привода и нагнетателя.

Цель и задачи является разработка методики расчета Магистрального Газопровода (МГ) в программном продукте Excel и описание модельного МГ.

Характерным свойством газов является их сжимаемость и способность расширяться. Газы не имеют собственной формы и расширяются до тех пор, пока не заполнят весь сосуд.

Для сжатия газа используются газоперекачивающие агрегаты (ГПА), предназначенные для компримирования природного газа на компрессорных станциях газопроводов. Работа нагнетателя определяется коэффициентами аппроксимации.

Коэффициенты аппроксимации индивидуальны для каждой ГТУ и могут быть определены на основе экспериментальных данных с использованием метода наименьших квадратов с применением уравнения или системы уравнений.

$$\begin{cases} \varepsilon_1^2 = a - b \cdot Q_{np1}^2 \\ \varepsilon_2^2 = a - b \cdot Q_{np2}^2 \\ \varepsilon_3^2 = a - b \cdot Q_{np3}^2 \\ \varepsilon_4^2 = a - b \cdot Q_{np4}^2 \\ \varepsilon_5^2 = a - b \cdot Q_{np5}^2 \end{cases}, \quad (1)$$

где ε_i – степень сжатия; a, b – коэффициенты аппроксимации; $Q_{np i}$ – расход газа.

Сжимая газ, мы совершаем работу над газом, затрачиваем энергию. Эта энергия идет на увеличения внутренней энергии газа, в результате чего температура увеличивается. Для увеличения пропускной способности, так как природный газ занимает больше объема если охлажден, а также, чтобы не допустить порчу оборудования из-за высокой температуры, газа направляют в аппарат воздушного охлаждения (АВО).

Теперь, исходя из полученных данных, мы можем приступить к расчётам.

Рассчитываем конечное давление по формуле

$$P_K = \frac{\sqrt{P_H^2 - \frac{Q^2 \cdot l \cdot \Delta \cdot \lambda \cdot Z_{CP} \cdot T_{CP} \cdot \Delta z \cdot \frac{e^{\alpha-1}}{\alpha-1}}{105,087^2 \cdot D_{BH}^5}}}{e^{\alpha}}, \quad (2)$$

где P_K, P_H – конечное и начальное давление; l – длина линейного участка между компрессорными станциями; Δ – относительная плотность по воздуху; λ – коэффициент гидравлического сопротивления трению; Z_{CP} – коэффициент сжимаемости; T_{CP} – средняя температура; Δz – коэффициент гидравлического сопротивления трению; D_{BH} – внутренний диаметр трубопровода.

$$\alpha = \frac{2 \cdot g \cdot \Delta z}{Z_{cp} \cdot T_{cp} \cdot R}, \quad (3)$$

где R – газовая постоянная; g – ускорение свободного падения.

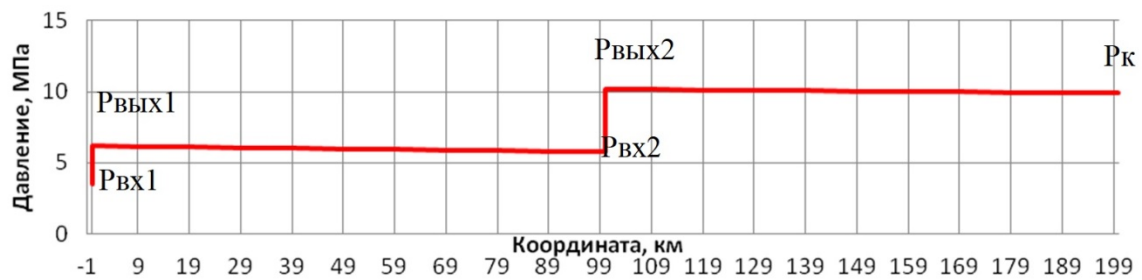


Рис. 1. Распределение давления между КС

Рассчитываем конечную температуру по формуле

$$T_K = T_0 + (T_H - T_0)e^{-\alpha_i l} - D_i \cdot \frac{P_H^2 - P_K^2}{2\alpha_i \cdot l \cdot p_{CP}} (1 - e^{-\alpha_i l}), \quad (4)$$

где T_K, T_H – конечная и начальная температура; T_0 – температура окружающей среды на глубине заложения газопровода; P_{CP} – среднее давление; D_i – Коэффициент Джоуля – Томсона.

$$\alpha_i = 0,225 \cdot \frac{K_{cp} \cdot D_{вн}}{Q \cdot C_p \cdot \Delta}, \quad (5)$$

где C_p – удельную теплоемкость газа; D_i – Коэффициент Джоуля – Томсона.

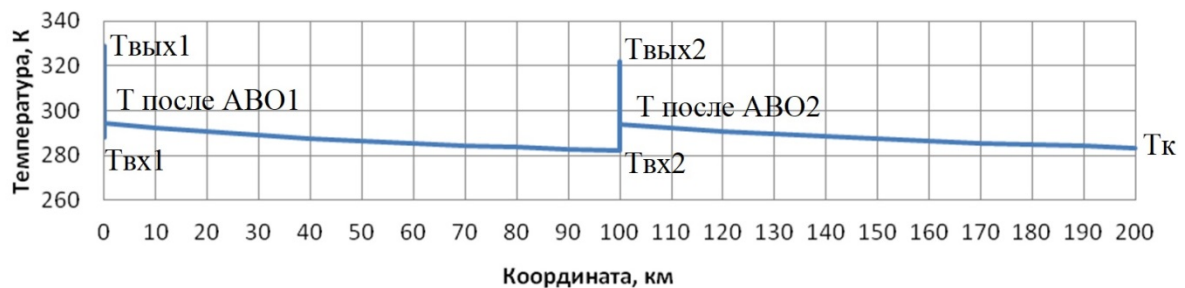


Рис. 2. Распределение температуры между КС

Для более реалистичной модели происходит отбор газа по системе уравнения:

$$\begin{aligned}
P_{ex1} \cdot a_1 - b'_1 \cdot \left(\frac{Q_1}{n_1}\right)^2 &= P_{ex2} + c_1 \cdot l_1 \cdot \left(\frac{Q_1}{n_1}\right)^2 \\
P_{ex2} \cdot a_2 - b'_2 \cdot \left(\frac{Q_1 - q_1}{n_2}\right)^2 &= P_{ex3} + c_2 \cdot l_2 \cdot \left(\frac{Q_2}{n_2}\right)^2, \\
P_{ex3} \cdot a_3 - b'_3 \cdot \left(\frac{Q_2 - q_2}{n_3}\right)^2 &= P_k + c_3 \cdot l_3 \cdot \left(\frac{Q_3}{n_3}\right)^2
\end{aligned}
\tag{6}$$

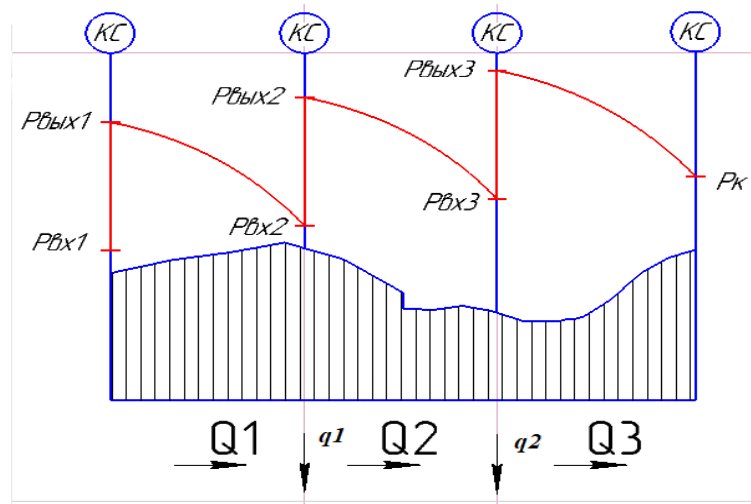


Рис. 3. Модель МГ с отбором газа

При расчете модели МГ, где учитывается отбор газа, к системе уравнения можно не прибегать, а задавшись начальным и конечным давлением, и зная расход по участкам, решить задачу последовательно от начального давления к конечному, рассматривая каждый участок, как простой трубопровод.

$$P_i = \frac{\sqrt{p_H^2 - \frac{\Delta \cdot \lambda \cdot Z_{CP} \cdot T_{CP} \cdot \Delta z \cdot \frac{e^{\alpha-1}}{\alpha-1}}{105,087^2 \cdot D_{BH}^5} \cdot \sum_{j=1}^i Q_j^2 \cdot l_j}}{e^{\alpha}}, \tag{7}$$

В ходе проведения исследовательской работы по моделирование режимов работы магистрального газопровода, мы провели аналитический разбор по МГ, разработали методику расчета и получили модель МГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селезнев, В. Е. Современные компьютерные тренажеры в трубопроводном транспорте / В. Е. Селезнев, В. В. Алешин, С. Н. Прялов. - Москва: МАКС Пресс, 2007. - 200 с.

2. Кузьменко, Н. Е. Начала химии / Н. Е. Кузьменко, В. В. Еремин, В. А. Попков. - Москва: Экзамен, 2000. - 720 с.

3. Лысенко, О. А. Исследование динамических характеристик электромеханического комплекса : центробежный насос - асинхронный двигатель / О. А. Лысенко, А. С. Солодянкин // Омский научный вестник. - 2010. - № 2 (90). - С. 148-151.

4. Аронзон, Н. З. Применение электрического моделирования для расчета компрессорных станций / Н. З. Аронзон, В. А. Козлов, А. А. Козобков. - Москва : Недра, 1969. - 178 с.

5. Шерстюк А. И. Насосы, вентиляторы, компрессоры / А. И. Шерстюк. - Москва : Высшая школа, 1972. - 342 с.

УДК 621.314.524

ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМ СИММЕТРИРОВАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ НАГРУЗОК ИНДУКЦИОННОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Вергун С. П., магистрант, vergun.sergej@list.ru

Вологжин В. А., магистрант

Мансуров М. О., магистрант

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье рассмотрен опыт применения на объектах нефтегазового комплекса специальных устройств для симметрирования однофазной нагрузки индукционного электрообогрева технологических объектов – симметрирующих трансформаторов, актуальность применения которых тесно связана со значительным ростом установленной мощности систем электрообогрева в последние годы. Использование устройств данного типа позволяет равномерно загружать фазы системы электроснабжения, а в некоторых случаях компенсировать реактивную мощность, что оказывает влияние на качество электроэнергии и, соответственно, на надежность и энергетическую эффективность систем электроснабжения. Исследованы преимущества и недостатки различных схем симметрирующих трансформаторов, определены пути их совершенствования. Сделан вывод о необходимости учета при расчете симметрирующих трансформаторов дополнительных потерь от токов высших гармоник, вызванных нелинейностью электромагнитных параметров индукционного электрообогрева

Ключевые слова: симметрирующий трансформатор, индукционный электрообогрев, скин-система, перегрев, нелинейная нагрузка

Известны два основных типа систем индукционного электрообогрева технологических объектов при помощи ферромагнитных теплоспутников, конструкции которых незначительно различаются: индукционная система нагрева, также иногда называемая системой электрообогрева вихревыми

токами [1, 2, 3, 4, 5], и индукционно-резистивная система нагрева, обычно называемая «скин-системой» [5, 6]. Особенностью систем данного типа является то, что они позволяют обогревать протяженные объекты, например, магистральные или межплощадочные трубопроводы, которые требуют значительной установленной мощности электрообогрева для компенсации тепловых потерь по всей своей длине. Установленная мощность отдельной индукционной системы обычно составляет более 100 кВт и может превышать один мегаватт, а система электроснабжения по этой причине требует применения отдельных трансформаторных подстанций для организации питания индукционного электрообогрева на среднем напряжении. В целях снижения несимметрии потребляемого тока в трансформаторных подстанциях индукционного электрообогрева используются специальные симметрирующие трансформаторы [5].

На промышленных предприятиях нефтегазового комплекса России, начиная с 2000-х годов, существует опыт применения симметрирующих трансформаторов с различными схемами соединения обмоток. Необходимо отметить, что опыт применения далеко не ограничивается индукционным обогревом, в частности симметрирующие трансформаторы широко используются в системах тягового электроснабжения, однако, там наибольшее применение нашли хорошо зарекомендовавшие себя трансформаторы, преобразующие три фазы в две, собранные по следующим схемам: схема Скотта, схеме ДСТ, схеме Кюблера и другим [7]. Количество фаз нагрузки индукционного электрообогрева тесно связано с количеством одновременно подключаемых к источнику питания нагревательных трубок: если индукционная система электрообогрева не организована в виде двух плечей, расходящихся от трансформаторной подстанции, или если диаметр обогреваемого трубопровода меньше 530 мм, или если нет необходимости в резервировании электрообогрева, то применение двух нагревательных трубок экономически нецелесообразно и система питания требует применения схем преобразования трех фаз в одну.

Симметрирующие трансформаторы для преобразования трех фаз в одну строятся на использовании балансирующих устройств, например, по схеме Штейнмеца или по другой специальной схеме, например, [5, 8]. Балансирующие устройства в данных схемах должны быть согласованы с нагрузкой, рассогласование приводит к несимметрии фазных токов источника питания, а в некоторых случаях к появлению значительной емкостной или индуктивной составляющей в данных токах. Так как фактическая протяженность внеплощадочных трубопроводов может отличаться от проектной более чем на 5%, электромагнитные параметры нагревательных трубок не нормированы соответствующими стандартами изготовления и также имеют отклонения от параметров, учтенных в проектах обогрева, то вопрос согласования нагрузки и балансирующих

устройств является важным. На ряде объектов нефтегазового комплекса РФ (Новопортовское месторождение ПАО «Газпром нефть», НПС при Новопортовском месторождении ПАО «Транснефть») известны случаи отключения синхронных генераторов дизельных электростанций из-за значительной емкостной составляющей тока нагрузки, вызванной перекомпенсацией балансирующими устройствами нагрузки индукционного электрообогрева. В результате чего для применения на объектах ряда компаний были приняты симметрирующие трансформаторы, выполненные по схеме «неполная звезда – разомкнутый треугольник» без балансировки и, соответственно, не обеспечивающие полного симметрирования нагрузки [9]. Таким образом, существует задача регулирования мощности балансирующих устройств.

Немаловажной является задача изготовления сухих симметрирующих трансформаторов в России, так как существующий опыт их использования является негативным: известные случаи применения российских симметрирующих трансформаторов, собранных по схеме Скотта, на Ванкорском месторождении, а также по схеме [8] на объекте ЗАО «Таманьнефтегаз» с последующим выходом из строя из-за перегрева [10]. В результате чего основными поставщиками сухих симметрирующих трансформаторов являются зарубежные компании, в частности, SEA (Италия) и GBE (Германия). По экспертной оценке основными причинами перегрева являются дополнительные потери, вызванные высшими гармониками тока нелинейной нагрузки индукционного электрообогрева [10, 11], а также недостатки конструкции и стандартных методов расчета тепловых потерь в трансформаторах, не позволяющие выполнить расчет для наиболее горячих областей симметрирующего устройства [10]. В связи с этим, также существует задача усовершенствования конструкции сухого симметрирующего трансформатора и методов расчета его тепловых потерь, учитывающего различный нагрев элементов конструкции, для чего планируется применить расчет электротепловой модели трансформатора методом конечных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 154343 Российская Федерация, МПК H05B6/06. Устройство для электрического подогрева технологических объектов вихревыми токами / Копырин В. А., Костоломов Е. М., Копырин С. А.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский индустриальный ун-т» (ТИУ). – №2015102482/07; заявл. 26.01.2015; опубл. 20.08.2015, Бюл. №29.

2. Пат. 175632 Российская Федерация, МПК H05B6/10. Устройство для индукционно-резистивного нагрева теплоспутников / Костоломов Е.

М., Паутов Д. Н.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-технический центр «Интерм» (ООО НТЦ «Интерм»). – №2016143852; заявл. 08.11.2016; опубл. 13.12.2017, Бюл. №35.

3. Пат. 2662635 Российская Федерация, МПК H05B6/06. Индукционно-резистивная система электрического обогрева / Костоломов Е. М., Паутов Д. Н.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-технический центр «Интерм» (ООО НТЦ «Интерм»). – №2016143260; заявл. 02.11.2016; опубл. 26.07.2018, Бюл. №21.

4. Kostolomov, E. M. Heat Tube Induction Heating Systems Stabilized Design / E. M. Kostolomov, G. A. Khmara, D. N. Pautov // Russian Forum of Young Scientists (RFYS). – Ekaterinburg, 2017. – С. 185-194.

5. Струпинский, М. Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли / М. Л. Струпинский, Н. Н. Хренков, А. Б. Кувалдин. – Москва : Инфра-Инженерия, 2015. – 272 с.

6. Пат. 168225 Российская Федерация, МПК F17D1/01. Устройство для электрического подогрева трубопроводов / Копырин В. А., Костоломов Е. М., Паутов Д. Н.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский индустриальный ун-т» (ТИУ). – №2015157353; заявл. 30.12.2015; опубл. 24.01.2017, Бюл. №3.

7. Закарюкин, В. П. Моделирование систем тягового электроснабжения, оснащенных симметрирующими трансформаторами: монография / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, И. М. Авдиенко. – Москва : Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 166 с.

8. Пат. 2290739 Российская Федерация, МПК H02M5/14, H01F30/12. Устройство питания для однофазных индукционно-резистивных нагрузок, обеспечивающее симметрию первичной трехфазной сети / Струпинский М. Л., Есехин В. М.; патентообладатель Струпинский М. Л., Есехин В. М. – №2005137391/09; заявл. 02.12.2005; опубл. 27.12.2006, Бюл. №36.

9. Трансформаторы серии ТМГП мощностью 63-1000 кВА класса напряжения 10 кВ. Руководство по эксплуатации: ВГЕИ.672133.026 РЭ. – Барнаул: ОАО «Алтранс», 2011. – 25 с.

10. Решение именем Российской Федерации Арбитражного суда города Москвы по делу №А40-170494/17-28-1561 от 06.11.2018 [Электронный ресурс] // А40-170494. – Режим доступа: <http://kad.arbitr.ru/Card/5e62e633-4942-43cf-a781-84e7239417fd>.

11. Шатов, В. А. 2006 Разработка методики расчета и исследование коаксиальной индукционно-резистивной системы нагрева промышленной и повышенной частоты [Рукопись]: дис. канд. техн. наук: 05.09.10 / В. А. Шатов; Московский энергетический институт. – Москва, 2006 г. – 170 с.

ИНДУКЦИОННАЯ СИСТЕМЫ НАГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ

Вологжин В. А., обучающийся, vologzhinvova@yandex.ru

Паутов Д. Н., руководитель центра организации и сопровождения научных проектов, pautovdn@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: В связи с опасностью повышения вязкости или замерзания транспортируемой жидкости в холодное время года применяются различные системы электрического обогрева трубопроводов: резистивные, индукционно-резистивные и индукционные. В статье рассматриваются результаты разработки установки для предварительного индукционного нагрева торцов труб трубопроводов перед сваркой с целью снижения уровня сварочных напряжений, улучшения структуры и свойств металла в зоне сварного соединения. Часто, наружное покрытие труб имеют антикоррозионное покрытие, поэтому индукционный нагрев, с помощью которого источники нагрева генерируются непосредственно в стенке трубы, представляется предпочтительным.

Ключевые слова: обогрев трубопроводов; энергосберегающие технологии, индукционный обогрев.

Выбирая систем электрообогрева следует учитывать некоторые условия, такие как стоимость системы, ее надежность, удобство эксплуатации и возможность использования в конкретном случае, а также использования взрывозащищенного оборудования [1].

Снижение рабочей частоты позволит предельно увеличить объем нагреваемой детали. Таким образом, электромагнитный нагрев металла основан на трех физических явлениях:

- передача энергии от индуктора к нагреваемой массе посредством электромагнитного поля;
- превращение электроэнергии в тепло посредством эффекта Джоуля;
- передача тепла по металлу в результате теплопроводности.

Оценим энергетический характер баланса энергии в кольцевой зоне трубы. Удовлетворяющая плотность потока (Вт/м²) рассчитывается по формуле:

$$p_0 = (1 + k) \left(\frac{ch\gamma}{t} + \frac{\alpha}{2} \right) \Delta T \quad (1)$$

где k — коэффициент учета отвода тепла теплопроводностью от зоны нагрева по стенке трубы ($k \leq 1$), γ — плотность материала трубы (кг/м³); α — суммарный коэффициент конвективной теплоотдачи и излучения (при коэффициенте черноты, равном 1) с внутренней поверхности трубы

(Вт/(м²·°C)); c — среднее за период нагрева значение удельной теплоемкости (Дж/(кг·°C)), ΔT — превышение температуры подогрева над исходной температурой трубы (°C), h — толщина стенки трубы (м). Выбраны трубы из стали типа 09Г2С либо 17Г1С. Теплофизические свойства близки к свойству стали 20, приведены в таблице 1 [2].

Таблица 1

Теплофизические свойства труб

Свойства	Температура, °C		
	60	115	230
λ , Вт/(м·°C)	50,9	50,4	47,9
c , Дж/(кг·°C)	499		
$\rho \times 10^8$, Ом·м	19,1	22,3	30,1
γ , кг/м ³	7858	7826	7785

Если положить $k = 1$, $c = 499$, $\gamma = 7858$, $h = 0,02$ м, $t = 1810$ с, $\alpha = 21$, $\Delta T = 120$ °C, то необходимая плотность будет равна $p_0 = 18,89 + 10^2$ Вт/м² ≈ 2 Вт/см². Средняя полезная мощность за период нагрева $t = 1810$ с, передаваемая источником, например, шириною $L = 0,198$ м и наружном диаметре трубы $D = 1,41$ м, будет:

$$P = p_0 L \pi D = 17,8 + 10^3 \text{ Вт.}$$

Для индукционного нагрева кольцевых стыков труб применяют всего два типа индукторов: петлевые и катушечные. В первом случае ток в соседних витках сонаправленные. Во втором две ветви — обратная и прямая. Токи в ветвях разнонаправленные, а в витках одной ветви — одинаковые.

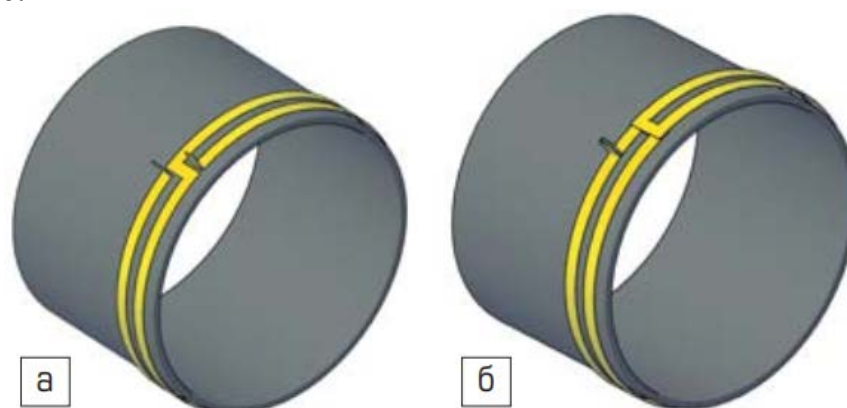


Рис. 1. а) Катушечный; б) Петлевой

В на рис. 2 показана схема размещения двух индукторов, симметрично расположенных относительно стыка. У петлевых индукторов системы есть возможность несимметрии.

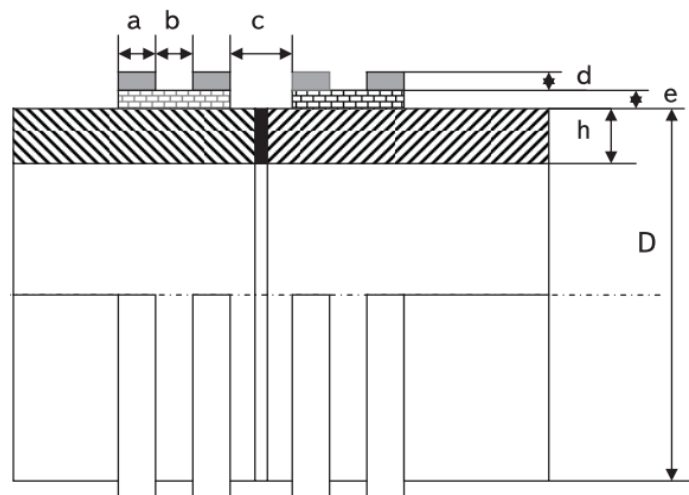


Рис. 2. Схема размещения двух индукторов, симметрично расположенных относительно стыка

Индукционная системы, на частоте 50 Гц, согласовывается с сетью с помощью симметрирующего устройства и однофазного трансформатора[3].

Сравним системы с петлевым и катушечным индуктором. Стали типа 09Г2С либо 17Г1С — ферромагнитные. Величина получена предварительно p_0 такова, что магнитная проницаемость μ_e на поверхности трубы окажет существенное влияние на глубину проникновения электромагнитной волны в стенку трубы. Пользуясь известной методикой [4], можно составить алгоритм определения μ_e . Из хорошо известной формулы $p_0 = 2,71 + 10^{-3} H_e^2 \sqrt{\rho \mu_e f}$, Вт/м², для указанных марок сталей, при $\rho = 23,28 + 10^8$ Ом·м (табл. 1) определяется:

$$H_e^2 \sqrt{\mu_e} = 7,58 + 10^5 (p_0 / \sqrt{f}). \quad (2)$$

где f — частота тока в индукторе; H_e — действующее значение первой гармоники напряженности магнитного поля (А/м). По данным кривой намагничивания определить зависимость $H^2 \sqrt{\mu} = \phi(H)$, то с ее помощью можно определить μ_e . В таблице 2 приведены значения H , μ [5] и $H^2 \sqrt{\mu}$ для стали с содержанием углерода 0,10%.

Таблица 2

Значения параметров для стали с содержанием углерода 0,098%

H , А/м	450	1100	2300	3000	4400	5200	6100
μ	2400	1080	5150	360	217	202	195
$(H^2 \sqrt{\mu}) \cdot 10^{-6}$	12.7	33.3	91.8	171.2	238.5	354.8	497.1

Произведем сравнение индукторов от 50 Гц до 35 кГц. Расчетные значения μ_e , вычисленные по алгоритму, а также глубина проникновения тока: $\Delta_e = 503 \sqrt{\rho / \mu_e f}$ в материал и Δ_1 — в индуктирующий провод (для справки).

Таблица 3

Значения μ_e , определенные по изложенному алгоритму

f, Гц	50	1500	3000	15000	35000
μ_e	73	208	288	458	650
$\Delta_e \times 10^4$, м	40	8,3	2,8	1,04	0,49
$\Delta_1 \times 10^3$, м	10	3,8	1,3	0,5	0,39

Нагрев в изученном случае является поверхностной характеристикой. При частоте свыше 10 кГц у петлевого индуктора несколько ниже η и существенно ниже $\cos\phi$ по сравнению с катушечным индуктором, а отношение $u = U_p/U_{c>}$ 1,5.

Петлевой индуктор конкурентно способствует катушечному индуктору, если он будет без водоохлаждения и гибким. Следовательно за один оборот вокруг трубы, накладывать на зону нагрева и подключать к источнику будет легко [6]. Но индуктор будет иметь $p_0 \leq 2$ Вт/см², что не хватит для нагрева кольцевого стыка трубы диаметром 1450 мм при минусовой температуре (-20 °С и ниже).

Индуктор катушечный разъемного типа с витками из медного профиля с развитой поверхностью воздушного охлаждения позволяет получить $p_0 > 3,5$ Вт/см² и произвести подогрев при минусовых температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паутов, Д. М. Взрывозащищенное электрооборудование технологических комплексов: учебное пособие для студентов / Д. М. Паутов, Е. М. Костоломов, В. А. Копырин. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 100 с
2. Лившиц, Л. С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов. - Москва : Машиностроение, 1989. - 167 с.
3. Базаров, А. А. Индукционная система для снятия термонапряжений в трубе после сварки / А. А. Базаров, Д. Ю. Чигирев // Вестник СамГТУ. Технические науки. - 2015. - № 4 (48). - С. 61-69.
4. Струпинский, М. Л. Индукционно-резистивная система обогрева трубопровода / М. Л. Струпинский, А. Б. Кувалдин // Электрика. - 2008. - № 11. - С. 21-24.
5. Кувалдин А. Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали / А. Б. Кувалдин. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. - 200 с.
6. Хренков, Н. Н. Расчет режимов остывания и разогрева трубопроводов / Н. Н. Хренков, Е. О. Дегтярева // Промышленный электрообогрев и электроотопление. - 2011. - № 2. - С. 20 – 23.

ПРЕДПОСЫЛКИ К ВНЕДРЕНИЮ СТАНДАРТА МЭК-61850

Втюрин А. В., магистрант, alllexq@mail.ru

Хмара Г.А., канд. техн. наук, доцент, hmaraga@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье рассмотрен стандарт МЭК-61850 и предпосылки к его внедрению на подстанциях. Рассмотрены пути преодоления барьера совместимости протоколов передачи данных используемых стандартов на подстанциях. Предложено разработать технологию, позволяющую использовать различные решения перехода на стандарт МЭК-61850 с технико-экономическим обоснованием.

Ключевые слова: стандарт МЭК-61850, протокол передачи данных, технико-экономическое обоснование.

Стандарт МЭК-61850 является документом, описывающим свод правил для организации событийного протокола передачи данных на подстанциях и между ними. После внедрения в системах электроснабжения микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики (РЗА) появилась необходимость в стандартизации потока передачи данных для обеспечения совместимости работы этих устройств различных производителей. То есть МЭК-61850 – это универсальный стандарт, позволяющий упорядочить разрозненные решения производителей устройств РЗА [1].

Проблема внедрения стандарта МЭК-61850 на существующих подстанциях состоит в том, что отсутствует полноценное инженерное и программное обеспечение для реализации протоколов стандарта. Так, например, существующие подстанции не оснащены соответствующим оборудованием, позволяющим получать данные от устройств первичных режимных параметров, а для их реализации требуется не только оснастить подстанцию микропроцессорными устройствами РЗА, но и полностью изменить принципы управления режимными параметрами, как предписывает стандарт.

Для решения одной из задач совместимости стандартов предыдущего поколения с МЭК-61850 Орлов Л.Л. и Егоров Д.В. предлагают решить проблему совместимости протоколов при помощи соединения используемого в настоящее время стандарта МЭК-60870 и новейшего стандарта МЭК-61850 программным переводчиком, что позволит уменьшить затраты на оборудование [2]. Аношин А.О. и Головин А.В., предлагают решать эту же задачу путем создания общей «шины данных», которая облегчила бы сбор показаний измерительных приборов, ошибок в работе оборудования, остановке подачи питания на подстанцию

и ускорила бы передачу данных на центральное устройство приема, то есть решать проблему аппаратно [3]. Тот и другой способ имеет право на существование, преимуществом первого способа является очевидная экономическая выгода, так как не требуется внедрение новых дорогостоящих микропроцессорных устройств РЗА, однако потенциально могут возникнуть ошибки расчета режимов при компиляции из одного протокола в другой. Второе решение позволит снизить риски, но повысит стоимость внедрения протокола за счет добавления микропроцессорных устройств РЗА на существующих подстанциях.

Цель данной исследовательской работы заключается в развитии технологий в отношении существующих городских подстанций, позволяющих перейти на стандарт МЭК-61850 при обоснованных технико-экономических показателях. Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Изучить особенности системы электроснабжения города, требования, предъявляемые к передаче данных для управления режимными параметрами, состояние систем РЗА на городских подстанциях, планы развития системы электроснабжения города.

2. Изучить требования стандарта МЭК-61850 в части городских подстанций и ограничения, накладываемые на систему электроснабжения.

3. Разработать и исследовать на математической модели технологию модернизации городской подстанции в части реализации стандарта МЭК-61850 с обоснованием технико-экономических показателей.

В результате решения поставленных задач появится технология, позволяющая переводить существующие городские подстанции на протокол МЭК-61850 с технико-экономическим обоснованием. В следующей статье авторами будет проведен анализ стандарта в отношении требований к городским подстанциям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сети и системы связи на подстанциях. Часть 7. Базовая структура связи для подстанций и линейного оборудования. Раздел 4. Совместимые классы логических узлов и классы данных. Технические требования: ГОСТ Р МЭК 61850-7-4-2011. – Введ. 2011-12-13. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 122 с.

2. МЭК 61850 – новый стандарт для построения систем автоматизации в энергетике [Электронный ресурс] // ЗАО "РТСофт". – Режим доступа: <http://www.rtsoft.ru/press/articles/detail.php?ID=811>.

3. Аношина, А. О. Стандарт МЭК-61850 / А. О. Аношина, А. В. Головин // Электротехника. – 2013. - № 2. – С. 80-88.

К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ

Ермакова Ю. П., магистрант, ermakova_julia1996@mail.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье рассматривается целесообразность применения альтернативных источников энергии на примере города Тюмени

Ключевые слова: энергия, солнце, солнечные батареи, альтернативные виды энергии, нетрадиционные источники энергии

Жизнь на планете Земля практически не возможна без энергии. В соответствии с законом о сохранении энергии, она не может возникнуть из ничего и исчезнуть в никуда. Энергия может быть получена из природных ресурсов, таких как нефть, уголь, природный газ и превращена в комфортабельные для нас формы, к примеру, свет или тепло. Жизненно необходимой для людей является тот вид энергии, которую дают солнечные лучи – солнечная энергия.

Все больше ученых специалистов занимаются поисками именно новых, нетрадиционных источников, которые могли бы взять на себя хотя бы часть забот по снабжению человечества энергией, так как энергетические ресурсы достаточно дороги и в значительной мере влияют на экономику многих государств. В настоящее время интерес к проблеме использования солнечной энергии значительно вырос. Постоянно проводятся опыты с целью усовершенствовать способы ее использования, чтобы в итоге можно было перейти от потребления традиционного топлива на солнечную энергию. О значении возможного потребления солнечной энергии свидетельствуют такие цифры: использование всего лишь 0,0125% количеств могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетики, а использование 0,5% - полное покрытие на перспективу [1].

Тема развития альтернативных способов получения энергии как никогда актуальна, так как общество изо дня в день испытывает все большую потребность в неисчерпаемых энергетических источниках. Традиционные источники, как правило, быстро истощаются. Если существующие тенденции сохранятся, то годовое потребление нефти в мире к концу 2018 года достигнет 3 миллиардов тонн. Предполагая, что промышленные запасы неизбежно значительно возрастут, можно сделать вывод, что к 2030 году будет исчерпано 80% мировых запасов нефти. По ранее сделанным прогнозам, запасов угля должно хватить еще на 410 лет. В настоящее время возможная добыча угля, с учетом разведанных и прогнозных запасов, оценивается в 7 триллионов тонн. Соответственно

если потребление, способы и объемы добычи ресурсов будут расти прежними темпами, то его запасов не хватит и на 200 лет [2, 3].

Выработка электроэнергии традиционными методами, путем сжигания топлива сопровождается химическим и радиационным загрязнением нашей окружающей среды. При сжигании угля на ГЭС в выбросах возрастает содержание радия и свинца. После сжигания, концентрация свинца в золе увеличивается в 5 - 10 раз, а радия в 3 - 6 раз [4]. На производство 1 киловатт-часа электроэнергии расходуется 300 - 400 г угля, крупная ТЭС расходует его в год миллионами тонн. Количество метана увеличивается ежегодно на 1%, углекислого газа - на 0,4%, закиси азота - на 0,2%. Тепловые электростанции в наибольшей степени «ответственны» за усиливающийся парниковый эффект и выпадение кислотных осадков. Они, вместе с транспортом, поставляют в атмосферу основную долю техногенного углерода (в основном в виде CO₂), около 50% двуокиси серы, 35% — окислов азота и около 35% пыли.

Таким образом, вероятность скорого истощения мировых запасов топлива, а также ухудшение экологической ситуации в мире, заставили задуматься как практиков, так и теоретиков о замене традиционных источников энергии на альтернативные.

Перспективным направлением в этой области является конечно же, солнечная энергетика. Ожидается, что к 2050 году энергия, полученная на основе излучения Солнца, обеспечит 20-25% потребностей человечества в электричестве и сократит выбросы углекислого газа на 6 миллиардов тонн ежегодно. Кроме того, в настоящее время около миллиарда человек населения Земли находится без доступа к электроэнергии. Использование солнечной энергии позволит исправить эту проблему. Однако, по мнению экспертов, переход на новый энергоуклад будет долгим и непростым [5].

За одну неделю на Землю поступает такое количество солнечной энергии, что она превышает энергию всех мировых запасов топлива. На каждый квадратный метр от солнца приходит 1367 ватт энергии. Если проанализировать в количественном выражении, то за один час Солнце дает такой объем энергии, который мировая экономика потребляет за целый год, это в несколько раз больше, чем все электростанции мира. Следовательно, один квадратный метр Солнца излучает 62 900 киловатт энергии. В таком режиме оно, как предполагают ученые, будет работать еще несколько миллиардов лет. Таким образом, для человеческих нужд Солнце является практически неограниченным источником энергии, а также, что немаловажно, относится к ресурсам, восстанавливаемым естественным путем. Преобразование солнечной энергии производится с помощью солнечных батарей. В связи с этим необходимо отметить, что положительным моментом, свидетельствующим об эффективности использования нетрадиционных источников, является тот факт, что базой для производства солнечных батарей выступает

кремний, занимающий второе место после кислорода по распространению в земной коре (не случайно вторым его названием является: «нефть 21 века»). Следует заметить, за 40 лет один килограмм кремния в фотоэлектрической станции вырабатывает столько электричества, сколько 85 тонн нефти на ТЭЦ. [6]

Обобщая вышеизложенное можно сказать, что потенциальные возможности энергетики, основанные на использовании непосредственного солнечного излучения, чрезвычайно велики. Использование солнечной энергии имеет массу неоспоримых преимуществ. Однако, альтернативные источники энергии на сегодняшний день играют ничтожно малую роль в энергетическом балансе России, несмотря на их огромный потенциал.

Нами предлагается рассмотрение инвестиционного проекта строительства завода, производящего солнечные батареи в г. Тюмени. Реализация данного проекта, по нашему мнению, должна положительно повлиять на повышение качества жизни, как в экономическом плане, так и в экологическом - бережное сохранение окружающей среды. Завод будет являться новым налогоплательщиком для государства и сможет «греть кошельки» местным жителям. Кроме того, использование производимых предприятием солнечных батарей для нужд собственного производства позволит сократить расходы на содержание предприятия поскольку среднегодовая продолжительность солнечного сияния в Тюмени - 2066 часов.

В Тюмени, лето бывает крайне теплым (максимальная отметка +37,5 °С), длится с конца мая до начала сентября. По статистике за 2018 год высокая температура воздуха в июле составляла + 30,0 °С. Солнечные дни в наибольшей степени наблюдаются в июле - 49%, среднесуточное количество солнечных часов составляет 11 часов. Дни, когда слой облаков не превышает 20%, считаются солнечными [7]. Такого количества «солнца» достаточно, чтобы обеспечить тюменские объекты бесперебойным электроснабжением. Безусловно, есть периоды, когда солнечного света мало, но в целом за год его больше чем, например, в Финляндии, где широко распространено использование солнечных панелей.

Современные панели генерируют электричество и в пасмурные дни, и даже в дождливую погоду, когда днем достаточно светло, чтобы батареи вырабатывали ток. Как свидетельствует зарубежная практика использования солнечных батарей (Германия, Италия, Япония, США, Испания, Китай, Финляндия, Швеция, Нидерланды и др.), начиная с марта и до конца октября, дом можно освещать электричеством, полученным как раз-таки от солнечных батарей. Энергии хватит не только для отопления помещения, но и для подогрева воды. В отличие от зимы, когда нужны будут другие источники энергии, в летнее длинные дни, солнце дает

столько электричества, что его можно будет даже продать электрической компании.

Географическое положение Тюмени позволяет достаточно целесообразно использовать солнечную энергию. Конечно, в южных регионах коэффициент полезного действия будет больше, но и у нас он не плохой, по сравнению с Москвой, где среднегодовая продолжительность сияния солнца составляет 1582 часа. Тюмень занимает 2 место после Сочи по количеству солнечных дней в году (в Тюмени их насчитывается 275).

В Тюмени уже есть примеры использования солнечной энергии: у школ размещаются светофоры, работающие от солнечных батарей, реализуются проекты по освещению дворовых территорий с использованием солнечной энергии и т.д., следовательно, формируется рынок сбыта для производимой будущим предприятием высокотехнологичной продукции [8].

Локальное использование альтернативных источников энергии поможет надежно обеспечить энергией население и сохранить природные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зысин, Л. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / Л. В. Зысин, В. В. Сергеев. – Санкт-Петербург: Политехнический университет, 2008. - 191 с.

2. Энергетические ресурсы РФ [Электронный ресурс] // География энергоресурсов в России. - Режим доступа: <https://works.doklad.ru/view/MZFHZZ79xhc.html>

3. Филимонова, Л. А. Ресурсосбережение - есть инструмент техносферной безопасности / Л. А. Филимонова, Н. К. Скворцова. // Северный морской путь, водные и сухопутные транспортные коридоры как основа развития Сибири и Арктики в XXI веке: сборник докладов XX Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2018. - С. 383-391.

4. Энергообеспечение [Электронный ресурс] // Экологообеспечение населенных мест. – Режим доступа: http://phoenixrostov.ru/netcat_files/Urban_ecology.pdf

5. Долгая дорога к Солнцу: когда в мире закончится нефть [Электронный ресурс] // История солнечной энергетики. – Режим доступа: <https://press-center/universitet-v-smi/dolgaya-doroga-k-solncu>

6. Как используют солнечную энергию [Электронный ресурс] // Альтернативные источники энергии. – Режим доступа: <http://realproducts.ru/kak-ispolzuyut-solnechnuyu-energiyu/>

7. Климат Тюмени [Электронный ресурс] // Метеорологический архив. – Режим доступа: <https://www.meteoblue.com/ru/>

8. Скворцова, Н. К. Принятие управленческих решений на основе методов стратегического планирования / Н. К. Скворцова, А. А. Зубарев // Теория и практика общественного развития. - 2016. - № 12. - С. 66-69.

УДК 621.31

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЫТУ

Кокина А. В., бакалавр, kokina.16.av@gmail.com
Шахова Л. В., бакалавр, shakhova.lili.13@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье затрагивается тема энергосбережения в быту. Актуальность данной работы заключается в нерациональном и неэффективном использовании энергоресурсов в повседневной жизни. Одна пятая часть электроэнергии расходуется впустую из-за безответственного отношения и энергобездумности потребителей электроэнергии. Это выливается в серьезные проблемы на мировом уровне, которые может решить энергосбережение в быту. В статье приведены способы сбережения электроэнергии, которые доступны каждому из нас.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, энергоресурсы.

В силу развития экономики, роста численности населения и человеческих нужд в мире происходит постоянный рост потребления энергетических ресурсов, запасы которых как известно в значительной мере ограничены и исчерпаемы. Поэтому во всем мире стоит задача использовать существующие ресурсы максимально эффективно и рационально, поскольку наращивать их производство постоянно не получится.

Россия в этом плане достигает определенных успехов – так с 2000 по 2012 год энергоемкость валового внутреннего продукта в России снизилась на 33%, но при этом остается одной из самых высоких среди развитых стран. Этому есть как объективные причины (климатические факторы, структура экономики), так и необъективные (неэффективность использования энергии и высокие потери).

По оценкам Международного энергетического агентства потенциал снижения расхода ресурсов для производства 1 единицы продукции составляет до 40%. Задача повысить энергоэффективность экономики на 40% к 2020 году поставлена президентом нашей страны в Государственной Энергетической политике. Но каким образом?

Энергоэффективность заключается в использовании меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического

снабжения зданий или технологических процессов на производстве. Принято считать, что повышение энергоэффективности – это пятый вид топлива.

Энергосбережение – единственный инструмент для достижения энергоэффективности, так как энергосбережение основано на эффективном использовании топливно-энергетических ресурсов и на вовлечении в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Потребность в энергии постоянно увеличивается, электростанции работают с полной нагрузкой, а особенно в осенне-зимний период года в часы пика потребления электроэнергии. Выявлено, что из-за небрежности потребителей 15-20% электроэнергии пропадает зря.

Простота и доступность электроэнергии породили у многих людей представление о неисчерпаемости наших энергетических ресурсов, притупили чувство необходимости её экономии.

Самая сложная проблема в энергосбережении и энергоэффективности – это начать с себя. Экономия при помощи разумного самоограничения в масштабах страны может дать значительный эффект, ведь помимо повседневной жизни, свои привычки мы приносим и на учебные заведения, на производство.

Основное правило, которое необходимо соблюдать для достижения поставленной задачи - это выключение электроприборов, зарядных устройств, освещения, когда они не используются, ведь это не требует совершенно никаких затрат, а даже наоборот, приводит к видимой экономии электроэнергии. Обратимся к цифрам:

1. Бытовые приборы потребляют электроэнергию даже в режиме ожидания, например: телевизор с экраном среднего размера в режиме ожидания потребляет в сутки 297 Вт/ч, а компьютер в 2 раза больше;

2. Зарядное устройство для мобильного телефона, оставленное включенным в розетку, нагревается, даже если там нет телефона. Это происходит потому, что устройство все равно потребляет электричество, и при этом 95% энергии используется впустую, когда зарядное устройство подключено к розетке постоянно;

3. Нагревайте в электрочайнике только необходимое количество воды, своевременно удаляйте накипь, ведь она обладает малой теплопроводностью, а значит вода в чайнике нагревается медленнее;

4. Энергосберегающие лампочки помогают сэкономить до 75-80% электроэнергии, при этом их световая отдача в 5 раз больше, чем у обычных;

5. Если при использовании кондиционера открыть окно, то теплый воздух с улицы будет активно перемешиваться с охлажденным воздухом комнаты, из-за этого будет происходить постоянный отток холодного воздуха и приток теплого, а помещение при этом охлаждаться будет

медленнее, поэтому кондиционер, работающий в открытом помещении охлаждает улицу, а не комнату;

6. Важно учитывать показатель энергоэффективности бытового электроприбора, буквам (буквам А и В соответствует низкий класс);

7. При неполной загрузке стиральной машины происходит перерасход электроэнергии примерно на 10-15%. При неправильной программе стирки - до 30 %.

Использование одного простого беззатратного правила, поможет увеличить энергоэффективность и даже сэкономить деньги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение в жилищном фонде: проблемы, практика и перспективы: справочник фонда института экономики города. - Москва: Фонд «Институт экономики города», 2004. — 105 с.

2. Родионов, В. Г. Энергетика : проблемы настоящего и возможности будущего / В. Г. Родионов. — Москва : ЭНАС, 2010. — 348 с.

3. Зверев, А. В. Энергоэффективность и энергосбережение: мировой опыт для России / А. В. Зверев. — Москва : Статистика России, 2011. — 176 с.

УДК 004.491

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС В МЕТРИКЕ ОБОБЩЕННОГО ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

Колесов В. И., канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник,
vikolesov@yandex.ru

Хмара Г. А., канд. техн. наук, доцент hmaraga@tyuiu.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Статья ориентирована на синтез инструментальных средств моделирования стратегий развития в сфере электроэнергетики умного города. Выполнена структурная и параметрическая идентификация макромоделей энергетического баланса при реализации больших инновационных проектов. Приведены результаты расчетов.

Ключевые слова: электроэнергетика, проект, обобщенное золотое сечение, управление, идентификация модели эффективности, принятие решений, Smart City.

Постановка задачи. Обоснование стратегии развития любого города относится к фундаментальным задачам городской администрации, при этом основной трудностью является осмысление самого механизма

развития, определяющего в итоге рабочий алгоритм процесса управления. Успех развития города предопределяется двумя важнейшими первопричинами: коэффициентом полезного действия механизма потребления предоставленного ресурса и разумным использованием полезной части ресурса, идущей на создание выходного эффекта (рис.1). В вопросе обоснования рационального подхода к задаче нет, к сожалению, полной ясности. Это затрудняет достижение эффективного результата. Делается попытка на основе энергетического подхода хотя бы частично устранить имеющийся пробел в решении первой части задачи.

Решение задачи. Управление развитием крупных городов входит по современным понятиям в сферу Smart-City. Решение такого класса задач для больших и сложных систем сопряжено, прежде всего, с корректным назначением цели. Существуют разные концептуальные модели при формулировании масштабных городских проектов. Принципиальное их различие состоит в вопросе, что понимать под эффективностью системы. Выделяют, по меньшей мере, четыре разных подхода к назначению цели [1]:

- цель – это устойчивое развитие города (когда скорость развития негативных процессов меньше скорости позитивных);
- цель – это устойчивое инновационное развитие (когда коэффициент полезного действия системы имеет положительную производную и растет за счет инноваций);
- цель – это максимизация векторной оценки эффективности в условиях регламентированных частных ключевых показателей;
- цель – это минимизация риска недостижения принятых обязательств.
- Выход на цель предполагает ответ на два вопроса:
- какая часть предоставленного ресурса участвует в создании выходного эффекта?
- насколько рационально эта часть используется?

При такой постановке задачи функциональная схема процесса имеет следующий вид (рис.1). Здесь блок «машина» характеризует первый аспект, а блок «процесс создания позитива» - второй.

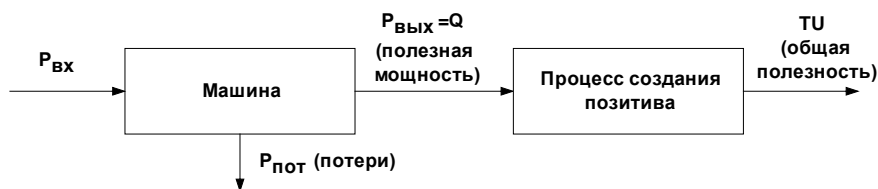


Рис.1 Функциональная схема процесса

Блок «машина». Характеризуя этот блок, прежде всего, необходимо наполнить инженерным содержанием понятие «устойчивое развитие».

Авторы целиком разделяет позицию, изложенную в работе [2], когда объект управления трактуется как «машина», к которой подведена некоторая мощность (ресурс) P_{ex} .

Эффективность работы такой «машины» легко пояснить с позиции её коэффициента полезного действия (кпд) $\eta = P_{вых} / P_{ex}$. Интуитивно ясно, что задача сводится к повышению выходной мощности $P_{вых1}$, при этом возможны три пути:

- повысить подводимую мощность P_{ex} , не меняя кпд (такой путь называют «ростом»);
- не изменяя подводимую мощность, повысить кпд за счет совершенствования старых технологий (такой вариант называют «устойчивым развитием»);
- не изменяя подводимую мощность, повысить эффективность за счет новых (инновационных) технологий (на рис.1 это реализуется во втором блоке). Такую стратегию называют «устойчивым инновационным развитием».

Таким образом, с инженерной точки зрения, устойчивое инновационное развитие – это повышение эффективности за счет рационального использования кпд путем инноваций, т.е. за счет наращивания уровня креативности разработчиков и реализаторов проекта.

Переходя далее к детальному анализу блока «машина», следует особо подчеркнуть, что принципиальным является вопрос о соотношении мощностных компонентов. Поскольку баланс мощностей можно представить в виде

$$P_{вх} = P_{вых} + P_{пот},$$

то из него следует, что

$$1 = x + x_c, \quad (1)$$

где x – доминанта (характеризующая кпд), $x = P_{вых} / P_{ex}$;

x_c – субдоминанта, $x_c = 1 - x = P_{пот} / P_{ex}$

Практика показывает, что в подавляющем большинстве случаев работает закон «обобщенного золотого сечения», когда выполняется пропорция

$$(1/x)^q = x/(1-x), \quad (2)$$

из которой следует

$$x^g + x - 1 = 0 \quad (\text{здесь } g = q + 1). \quad (3)$$

Корень уравнения (3) (обозначим его x_{opt}) характеризует долю ресурса $P_{вх}$, поступающего на вход второго блока (см. рис.1).

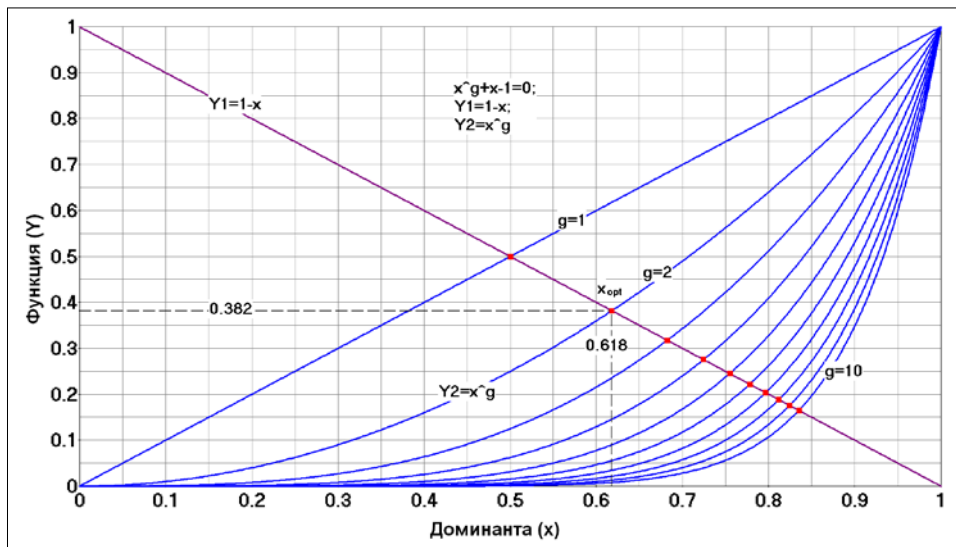


Рис.2 Решение уравнения $x_{opt}^g + x_{opt} - 1 = 0$

Легко заметить, что x_{opt} является функцией аргумента g , который потенциально может использоваться как параметр управления доступной долей ресурса (рис.3).

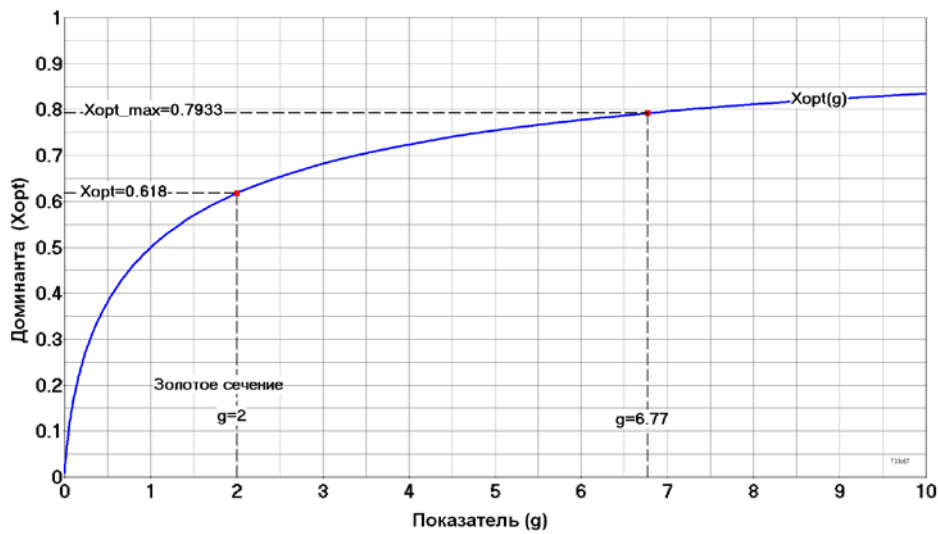


Рис.3 Модель $x_{opt}(g)$

Ситуация при $g = 2$ рассматривается как классическое «золотое сечение», когда решением уравнения (3) является доминанта

$$x_{opt} = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + 1} = 0.618.$$

При вариации показателя g в модели «обобщенного золотого сечения» (3) меняется не только значение x_{opt} , но и относительная энтропия,

являющаяся численной характеристикой уровня организованности системы,

$$H_n = H/H_{\max} = -[w \cdot \ln(w) + (1-w) \cdot \ln(1-w)]/\ln(2), \quad (4)$$

где w - доля порядка в бинарной системе, $w = 1 - 0.5^g$; $1 - w$ - доля хаоса. На рис.4 приведен график зависимости H_n от доминанты x_{opt} . Абсцисса $x_{opt} = 0.5$ (при которой $H_n = 1$) является границей раздела закрытых и открытых систем.

Практический интерес представляет разумный диапазон аргумента x_{opt} , соответствующий инженерной практике. С этой целью в точке перегиба правой ветви кривой H_n (т. С), проведена касательная, позволившая оценить как предельное значение x_{opt_max} , так и достижимый уровень показателя g (см. рис.3). В отечественных исследованиях такие оценки, к сожалению, найти не удалось, хотя в предиктивной аналитике они играют ключевую роль.

Что касается значения x_{opt_max} , то его можно принять равным ≈ 0.79 , то есть оно практически (и это примечательно) соответствует закону Парето «20/80». Таким образом, закон Парето - это не повседневная норма, а предел, к которому стремится эффективная система.

Если акцентировать внимание на точке классического «золотого сечения» (где $x_{opt} = 0.618$), то следует зафиксировать, что она принадлежит области открытых систем и соответствует уровню относительной энтропии $H_n = 0.811$.

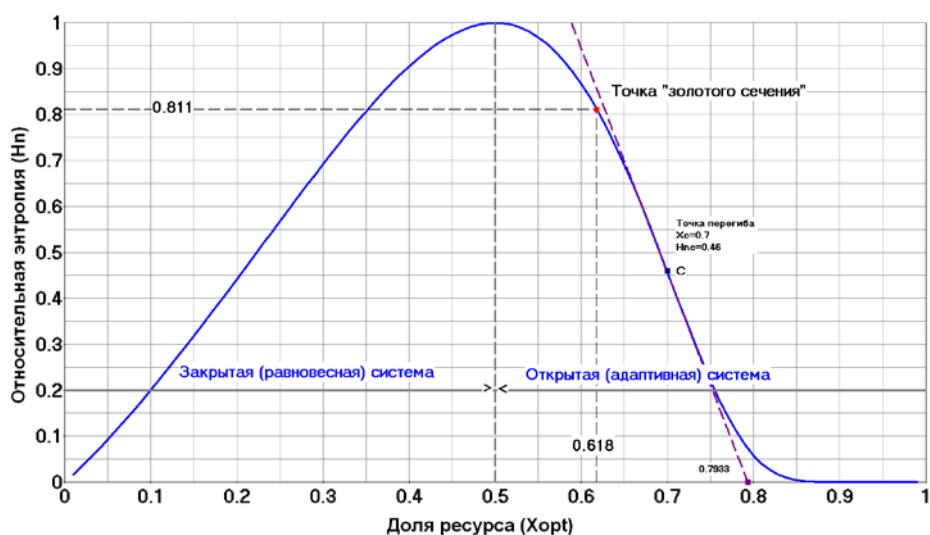


Рис.4. Модель относительной энтропии $H_n(x_{opt})$

Полученные результаты имеют ряд перспективных инженерных приложений:

- моделирование вариантов развития города;
- прогноз целевых показателей;
- разработка алгоритмического обеспечения для интеллектуальных систем управления городом и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов, О. Ф. О целеполагании в сфере Smart City / О. Ф. Данилов, В. И. Колесов // Инновации в управлении региональным и отраслевым развитием: сб. научн. тр.- Тюмень, 2017. - С. 87-93.

2. Кузнецов, О. Л. Устойчивое развитие. Научные основы проектирования в системе природа-общество-человек / О. Л. Кузнецов, П. Г. Кузнецов, Б. Е. Большаков. – Дубна : Международный университет природы, общества и человека "Дубна", 2001. - 604 с.

УДК 620.92

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГИЯ КАК ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ

Костин В. Е., руководитель центра робототехники СИП, старший преподаватель кафедры кибернетических систем, kostinve@tyuiu.
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Рассмотрена одна из проблем сдерживания роста количества устройств интернета вещей, и предложен способ её решения с использованием возобновляемой энергии.

Ключевые слова: возобновляемая энергия, источник питания, интернет вещей.

За последнее десятилетие высказывалось множество прогнозов по стремительному росту количества устройств интернета вещей, в том числе промышленного. С 2012 по 2017 годы такие крупные производители электроники как IBM и Cisco прогнозировали рост количества устройств до 50 млрд. и более к 2020 году. Однако в 2018 году вышли прогнозы на 2025 год, где количество устройств интернета вещей в мире будет всего лишь 25 млрд. штук. Основной проблемой, сдерживающей рост количества устройств, является наличие источников питания, которые необходимо менять обычно каждые 3 года, но не менее чем раз в 10 лет. Для замены элементов питания у прогнозируемого 1 трлн. устройств

потребовалось бы почти 30 млн. работников, занятых на полный рабочий день [1].

Помимо потребности устройств интернета вещей в источниках питания длительного срока службы, близкого к сроку службы самого устройства, в ближайшем будущем велика вероятность увеличения потребности в распределенных системах сбора данных, способных их передавать на значительные расстояния и работать в автономном режиме без подключения к сети питания. Автономную систему сбора и передачи данных (рис.1) целесообразно разрабатывать на базе следующих элементов:

- микроконтроллер (МК);
- датчики (Д) для измерения необходимых параметров окружающей среды или технологических объектов (температура, давление, геометрические размеры, влажность, электропроводность и т.п.);
- система передачи данных (СПД), например LoRa;
- ветрогенератор (ВГ);
- элементы хранения (ЭХ) электрической энергии (химический, механический, гидравлический аккумуляторы, ионисторы и т.п.);
- система заряда (СЗ) и поддержания в рабочем состоянии элементов хранения электроэнергии;
- датчики с радиочастотной идентификацией (Д RFID), значение идентификатора которых меняется в зависимости от измеряемых параметров, и не имеющие собственных источников питания [2].

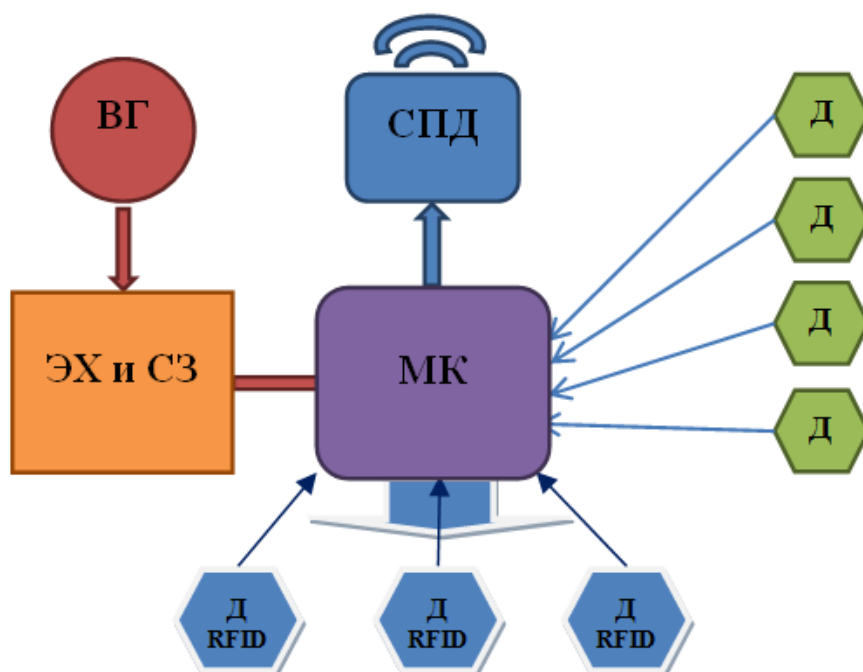


Рис. 1. Структурная схема системы сбора и передачи данных

Для реализации турбины ветрогенератора была разработана трехмерная модель (рис.2), которая в дальнейшем была изготовлена из пластика методом аддитивной печати в центре робототехники СИП ТИУ. Прототип источника питания для устройств интернета вещей или системы сбора и передачи данных состоит из турбины генератора постоянного тока, закрепленного в корпусе (рис.3). Необходимая мощность генератора (N_r) в Вт определяется по формуле (1):

$$N_r = \frac{\sum_1^n (N_{yn} \times k_n \times \Delta t_n)}{86400} \div \varepsilon, \quad (1)$$

где: n – количество устройств; N_{yn} – мощность n -го устройства в Вт; k_n – количество «пробуждений» n -го устройства в сутки; Δt_n – время работы n -го устройства во время «пробуждения» в секундах; ε – коэффициент, учитывающий КПД турбины и генератора, а также энергию ветра в месте установки устройства.

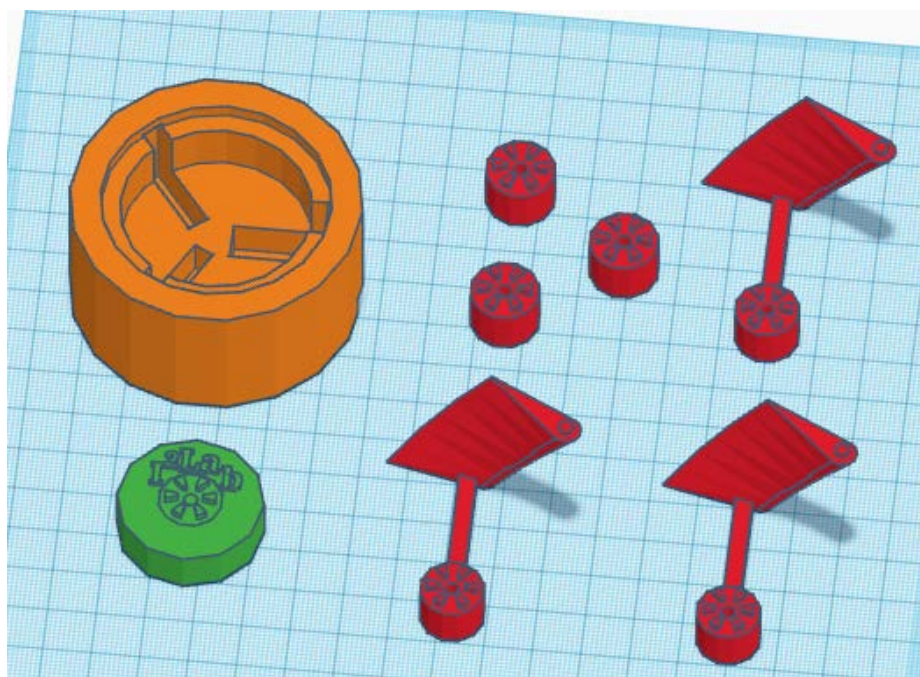


Рис. 2. Трехмерные модели элементов конструкции



Рис. 3. Внешний вид конструкции

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз по числу IoT-устройств в мире «растаял» с 1 трлн до 25 млрд штук из-за отсутствия «вечных батарей» - исследование [Электронный ресурс] // iot.ru – Новости интернета вещей. – Режим доступа: <https://iot.ru/promyshlennost/prognoz-po-chislu-iot-ustroystv-v-mire-rastayal-s-1-tlrn-do-25-mlrd-shtuk-iz-za-otsutstviya-vechnykh>. Электронный ресурс

2. Zhenyu Jiang. RFID tag antenna based wireless sensing method for medical transfusion applications/ Zhenyu Jiang, Zhewei Fu, Fan Yang // 2012 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA). – 2012. - DOI: 10.1109/RFID-TA.2012.6404496. - Online ISBN: 978-1-4673-4658-0.

УДК 621.311:621.316.925(075)

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА

Котельников К.А., магистрант, kka.kot_96@mail.ru

Власова Е. П., канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроэнергетика»
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Стабильное функционирование дифференциальной токовой защиты трансформатора обеспечивает надежность и бесперебойное питание потребителей. Повышение чувствительности и быстродействия дифференциальной защиты, а также усовершенствование методик ее расчета обусловит оптимизацию ее эффективности.

Ключевые слова: дифференциальная токовая защита, ток намагничивания, чувствительность, быстродействие.

На сегодняшний день, из всех видов энергии, электрическая нашла наибольшее применение в современной промышленности и производстве. Для генерирования, передачи, распределения и потребления данной энергии необходима целая структурированная система, содержащая в себе такие составляющие, как генераторы, трансформаторы, линии электропередач и др. Разумеется, для стабильного функционирования этой системы необходимы защитные устройства, роль которых выполняют релейная защита и противоаварийная автоматика, которым, к сожалению также присуще ложные срабатывания и дестабилизации.

В наше время, силовые трансформаторы являются неотъемлемой частью электроэнергетических систем и относятся к категории наиболее дорогостоящего оборудования. В следствие чего, необоснованное отключение или выход из строя данного электростатического агрегата, в первую очередь, связано с экономическими, промышленными и технологическими ущербами. Для того, чтобы свести к минимуму данные последствия и обеспечить бесперебойное питание потребителей, применяют релейную защиту и противоаварийную автоматику, и наиболее важное место занимает дифференциальная токовая защита трансформатора.

Тем не менее, если верить обобщенной статистике аварийности в российских и зарубежных электроэнергетических системах, приблизительно 25% аварий происходят в следствие неправильной работы релейной защиты и автоматики, в том числе и дифференциальной защиты, которая, хоть и отличается особой надежностью, подводит в 20% случаев. Основной причиной выше изложенного обстоятельства считается использование недостаточно полных и достоверных методик расчета уставок релейной защиты, а также пренебрежение погрешностями, которые обуславливаются второстепенными элементами электрической цепи [1].

Анализ литературных источников показал, что данной теме было посвящено множество научных работ, диссертаций, статей, а также патентов и изобретений. Так, в работе кандидата технических наук Андреева Михаила Владимировича «Средства всережимного моделирования дифференциальных защит трансформаторов в электроэнергетических системах» [2] был совершен анализ всевозможных причин неправильных действий дифференциальной токовой защиты трансформатора (ДТЗ) и сделан вывод, что существующие методики неадекватно учитывают погрешности конкретных реализаций ДТЗ и расчет уставок производится с применением приближенных и обобщенных коэффициентов, существенно закругляющих уставки защиты. Для

решения данной проблемы была разработана методика создания всережимных математических моделей ДТЗ, позволяющая повысить адекватность и эффективность их функционирования.

В научной диссертации Попова С.О. [3] поставлена несколько иная цель – повышение быстродействия дифференциальной токовой защиты трансформатора, которая также представляет огромную значимость для устойчивости электрических станций и электроэнергетических систем в целом. Для достижения выше изложенной цели, было разработано и интегрировано в структурную схему дифференциальной защиты цифровое устройство ФТН (фильтр токов намагничивания) для восстановления первичного тока трансформатора тока с учетом нелинейных характеристик его параметров. Данное устройство повышает устойчивость и достоверность контроля параметров энергосистемы средств релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Аналогичную цель преследовали и авторы патента «Устройство дифференциальной защиты трансформатора» [4]. Однако, в процессе достижения технического результата, был обнаружен другой, альтернативный способ повышения быстродействия. Данный метод, по большей своей части, заключается в том, что в устройство внедрены датчики тока, сердечники которых выполнены из немагнитного материала, а на выход каждого датчика присоединён сглаживающий фильтр. Также нужно отметить, что данным изобретением была повышена чувствительность к витковым замыканиям в силовом трансформаторе в максимальных нагрузочных режимах.

Согласно мнению большинства экспертов, одной из причин несовершенства дифференциальной защиты также является перенасыщение магнитной системы трансформаторов тока, что вызывает значительные броски токов намагничивания (БТН), которые, в свою очередь, обуславливают высокие токи срабатывания защиты. Для решения данной проблемы было изобретено устройство, целью которого является снижение тока срабатывания защиты в четыре и более раз. Для этого, как указывается в патенте Осипова В.С. «Устройство продольной дифференциальной защиты двухобмоточных силовых трансформаторов» [5], в устройство на выходе каждого трансформатора тока устанавливаются нагрузочные сопротивления равные 0,1-0,2 Ом (1% точности). Единственным недостатком этого изобретения является сложное конструктивное исполнение, однако стоит отметить и преимущества, которые дает нам это устройство. Во-первых, значительно снижен ток срабатывания защиты, во-вторых, повышена чувствительность для повреждений в защищаемой зоне, в-третьих, рассмотрены варианты работы защиты при КЗ в зоне защиты и одновременном внешнем КЗ, и наконец, повышена точность расчета.

Также без внимания данный вопрос не оставили и фирмы производители релейной защиты и автоматики такие, как «Механотроника», «Сириус-Т», «АББ» [6,7,8]. Выше перечисленные организации, располагают своими индивидуальными методиками расчета дифференциальной токовой защиты трансформатора, каждая из которых имеет свои принципиальные отличия, заключающиеся как в использовании различных коэффициентов, так и в содержании самих формул расчета. Данное обстоятельство, в очередной раз, подчеркивает актуальность обзора в этой статье проблемы.

В заключении, необходимо отметить, что все выше рассмотренные способы оптимизации дифференциальной токовой защиты трансформатора имеют как свои преимущества, так и недостатки. И несмотря на то, что авторы данных идей преследовали разные цели, для достижения которых использовались абсолютно отличающиеся друг от друга методы, их объединяет один общий замысел – техническое совершенство и надежность функционирования релейной защиты, что в свою очередь, определяет стабильное и бесперебойное энергоснабжение потребителей.

Таким образом, целью дальнейшей работы является изучение и усовершенствование методики расчета дифференциальной защиты трансформатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власова, Е. П. Релейная защита электроэнергетических систем [Электронный ресурс] / Власова Е. П. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2014620219 Российская Федерация. Электронное учебное пособие «Релейная защита электроэнергетических систем»: заявитель ТюмГНГУ. 04.02.2014.

2. Андреев, М. В. Средства всережимного моделирования дифференциальных защит трансформаторов в электроэнергетических системах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Андреев М. В; НИ ТПУ. - Томск, 2013. - 21 с.

3. Попов, С. О. Разработка методов и средств повышения эффективности дифференциальной защиты трансформатора: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Попов С. О; СПбГПУ. – Санкт-Петербург, 2012. – 19 с.

4. Пат. 2497256 Российская Федерация МПК Н02Н 7/045. Устройство дифференциальной защиты силового трансформатора / Суворов А. А., Глазырин В. Е., Ерушин В. П., Тимофеев И. П.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Новосибирский государственный технический университет». - № 2012123731/07; заявл. 07.06.2012; опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.

5. Пат. 2502168 Российская Федерация МПК Н02Н 7/045. Устройство продольной дифференциальной защиты двухобмоточных силовых трансформаторов / Осипов В. С., Котенев В. И., Голышев В. А.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет». - № 2012117539/07; заявл. 27.04.2012; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35.

6. Механотроника [Электронный ресурс] // Интеллектуальные устройства релейной защиты. – Режим доступа: <http://www.mtrele.ru/>.

7. Сириус-Т [Электронный ресурс] // Микропроцессорное устройство защиты руководство по эксплуатации. – Режим доступа: http://www.samarapribor.ru/dop_materials/sirius-t+++instruction.pdf.

8. АББ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://new.abb.com/ru>.

УДК 621.313(075.8)

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кудряшов Р. А., канд. техн. наук, доцент кафедры ЭЭ,
tmnruslan@gmail.com

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Представлены результаты многолетних исследований автора в области определения электрических нагрузок предприятий нефтяной и газовой промышленности на стадии проектирования электроснабжения

Ключевые слова. Электрические нагрузки, электропотребление, нефтяная и газовая промышленность, показатели электрических нагрузок, методы расчета, проектирование систем электроснабжения.

Основопологающим разделом проектирования электроснабжения промышленных установок и комплексов является определение уровней электропотребления и электрических нагрузок. Они дают представление о типе и мощности источников питания, схеме электроснабжения, подбору электрооборудования и сетей, а также режимах функционирования проектируемой системы электроснабжения, величинах капвложений в

строительство электрической сети, надежности и экономичности работы электрических сетей и систем в процессе эксплуатации [1].

Особенно важны эти вопросы в условиях нефтяной и газовой промышленности Западной Сибири. В условиях неопределенности развития технологических систем определение электрических нагрузок становится многоэтапной задачей, тесно увязанной с технологией производства и характеристиками технологического и электротехнического оборудования для нефтяной и газовой промышленности [2].

Первый этап: выявление характеристик существующих графиков нагрузок и изучение основных показателей:

1. Коэффициент включения (характеризует относительное время включения в работе электроприемников (ЭП) в наиболее загруженную смену, для установок нефтегазодобычи – наиболее загруженные сутки).

Различают: индивидуальный k_e – для одного ЭП, групповой K_e – для группы ЭП

$$k_e = t_b / (t_b + t_n),$$

где t_b – время нахождения ЭП в работе, ч., t_n – время паузы, ч.;

$$K_e = (\sum k_{vi} \cdot p_{ni}) / (\sum p_{ni}),$$

где p_{ni} – номинальная мощность i -го ЭП, кВт.

2. Коэффициент загрузки характеризует долю загрузки ЭП по отношению к номинальной мощности;

$$k_z = p_{св} / p_n,$$

где $p_{св}$ – средняя мощность за время включения;

$$l_z = q_{св} / q_n,$$

где $q_{св}$ – средняя реактивная мощность за время включения, квар – номинальная реактивная мощность, квар.

Например, для асинхронных двигателей;

$$q_n = p_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n / \eta_n, \text{ квар},$$

где $\operatorname{tg} \varphi_n$ – номинальный коэффициент реактивной мощности, η_n – номинальный КПД двигателя.

3. Коэффициент использования характеризует долю использования ЭП по времени и по нагрузке по отношению к номинальной мощности

$$k_{и} = k_b \cdot k_z;$$

$$l_{и} = l_b \cdot l_z.$$

4. Коэффициент формы графика нагрузки характеризует неравномерность графика нагрузки

$$K_{\phi} = P_{ск} / P_n,$$

где $P_{ск}$ – среднеквадратичная нагрузка группы ЭП, кВт

$$L_{\phi} = Q_{ск} / Q_n,$$

где $Q_{ск}$ – среднеквадратичная нагрузка группы ЭП по реактивной мощности, квар

5. Коэффициент максимума характеризует превышение расчетных нагрузок над средними

$$K_M = P_p/P_c;$$

$$L_M = Q_p/Q_c.$$

6. Коэффициент спроса – вспомогательный коэффициент, связывающий расчетную нагрузку с номинальной мощностью

$$K_c = P_p/P_n;$$

$$L_c = Q_p/Q_n.$$

7. Коэффициент заполнения графика нагрузки

$$K_{зг} = 1/K_M;$$

$$L_{зг} = 1/L_M.$$

Средняя нагрузка определяется как

$$P_c = K_{и} \cdot P_n,$$

$$Q_c = L_{и} \cdot Q_n$$

Среднеквадратичная нагрузка:

$$P_{ск} = K_{ф} \cdot P_n,$$

$$Q_{ск} = L_{ф} \cdot Q_n,$$

Расчетная нагрузка:

$$P_p = K_M \cdot P_c = K_{и} \cdot K_M \cdot P_n = K_c \cdot P_n,$$

$$Q_p = L_M \cdot Q_c = L_{и} \cdot L_M \cdot Q_n = L_c \cdot Q_n$$

Отсюда

$$K_c = K_{и} \cdot K_M,$$

$$L_c = L_{и} \cdot L_M.$$

Расход активной электроэнергии по показателям нагрузок:

$$W_a = P_c \cdot T = K_{и} \cdot P_n \cdot T = P_p \cdot T_M = K_c \cdot P_n \cdot T_M,$$

где T – общий фонд рабочего времени (месяц - 720 ч., год - 8760 ч.), ч.; T_M – число часов использования максимума нагрузки (в месяц, в год), ч.

Современные технические средства, системы АСКУЭ позволяют постоянно наблюдать за изменением электрических нагрузок, определять статистические характеристики графиков электропотребления, определять расчетные значения нагрузок, а в общих системах телеизмерения, создаваемых на уровне технологических цехов и систем – и удельные расходы электроэнергии.

Второй этап – определение [3]:

- средних электрических нагрузок (P_c , Q_c , S_c , I_c) - для расчетов электропотребления и нормирования затрат электроэнергии;

- среднеквадратичных (эффективных) нагрузки ($P_{ск}$, $Q_{ск}$, $S_{ск}$, $I_{ск}$)- для расчетов потерь электроэнергии в сетях и элементах электрической системы;

- максимальных (расчетных) электрических нагрузок (P_m , Q_m , S_m , I_m или P_p , Q_p , S_p , I_p) за переменное время осреднения (например, 30 мин.) - для заявления максимальных нагрузок в энергосистему, выбора сечений проводов и кабелей, выбора мощности трансформаторных подстанций.

Одним из наиболее эффективных методов первичной оценки средних электрических нагрузок является определение уровней электропотребления и нагрузок по показателям технологии производства [4].

После оценки уровня нагрузок по данным технологии и выработки основных решений по построению системы электроснабжения, начинается третий этап – уточнение электрических нагрузок по результатам выбора технологического оборудования [5].

В этом случае оценкой максимально возможного значения расчетной мощности является номинальная нагрузка, определяемая по данным каталогов, справочников, в паспортных данных ЭП.

Дальнейший расчет нагрузок проводится методами, обоснованными и описанными в [4].

Основные задачи расчетов электрических нагрузок и электропотребления при проектировании систем электроснабжения:

1. При заданных основных показателях работы оборудования кустов эксплуатационных скважин с погружными насосными установками и станками-качалками (число и мощность насосов на кусте, коэффициенты включения и загрузки по активной и реактивной мощностям). Определить средние и расчетные нагрузки кустов скважин и подстанций 6(10)/0.4 кВ, 35/0.4 кВ и 35/6(10) кВ, питающих кусты.

2. По заданным технологическим показателям механизированной добычи нефти по годам перспективного периода для нефтяного промысла определить удельные расходы электроэнергии, объемы электропотребления и средние электрические нагрузки по годам перспективного периода.

3. Системная подстанция (ПС) 110/35 кВ или газотурбинная электростанция (ГТЭС) питает технологический комплекс нефтяного месторождения, содержащий кустовую насосную станцию (КНС) для закачки воды в пласт, дожимную насосную станцию для сбора и транспорта продукции скважин (ДНС), перекачивающую насосную станцию (ПНС) для транспорта обезвоженной нефти на установку подготовки нефти, компрессорную станцию низких ступеней сепарации (КС), вахтовый жилой комплекс (ВЖК) и промзону (ПЗ). Каждая технологическая установка (КНС, ДНС, ПНС, КС) содержит высоковольтные электродвигатели напряжением 6(10) кВ и двухтрансформаторные КТП 10/0,4 кВ, высоковольтные электродвигатели есть и на самой ГТЭС в варианте электроснабжения от нее. ВЖК и ПЗ питаются от двухтрансформаторных подстанций 10/0,4 кВ. Построить схему электроснабжения технологических установок от ПС или ГТЭС и определить электрические нагрузки по активной и реактивной мощности всех технологических установок и уровней системы электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский [и др.]. – Ленинград: Энергия, 1976. - 276 с.
2. Азимов Б. А. Электрические нагрузки нефтяных промыслов / Б. А. Азимов, Д. М. Кремер. – Москва: ВНИИОЭНГ, 1975. - 84 с.
3. Кудряшов, Р. А. Роль методического фактора при уточнении расчетного максимума мощности для нефтедобывающих предприятий / Кудряшов Р. А., Кудряшова О. М // Нефтяное хозяйство. – 2004. - № 3. - С. 82-83.
4. Кудряшов, Р. А. Совершенствование расчетов электропотребления и электрических нагрузок в изменившихся условиях проектирования электроснабжения нефтяных и газовых месторождений / Кудряшов Р. А., Фрайштетер В. П. // Нефтяное хозяйство. – 2009. - № 2. - С. 56-58.

УДК 621.31

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ НЕФТИ УСТАНОВКАМИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Логунов А. В., бакалавр, logunovav97@mail.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Актуальность работы обусловлена необходимостью общения способов повышения эффективности добычи нефти установками электроцентробежных насосов. В ходе изучения научной литературы и патентов по данной проблематике определены два направления, реализуемые на кафедре электроэнергетики Тюменского индустриального университета: повышения энергетической эффективности добычи нефти и повышение эксплуатационной надежности установки для добычи нефти. Предложенные авторами внутрискважинные компенсаторы реактивной мощности и внутрискважинные ограничители перенапряжения позволяют уменьшить энергопотребление, за счет снижения активных потерь, и повысить надежность, за счет повышения срока службы изоляции обмоток погружного асинхронного электродвигателя.

Ключевые слова: внутрискважинный компенсатор реактивной мощности, внутрискважинный ограничитель перенапряжения, эффективность.

В настоящее время повышение эффективности механизированной добычи нефти установками электроцентробежных насосов (УЭЦН) является важной задачей, так как на данные установки приходится основной объем добытой нефти [1-3]. Вместе с тем, добыча нефти УЭЦН является энергоемким процессом [4, 5]. Распределение потребления

электроэнергии по технологическим процессам от общего энергопотребления выглядит следующим образом:

- добыча нефтесодержащей жидкости – 55...62 %;
- закачка воды в пласт – 22...30 %;
- транспорт нефти и газа и др. технологические процессы – 8...23 %.

Надежная работы УЭЦН зависит от многих факторов, и в первую очередь от скважинных условий. Нарботка на отказ УЭЦН в среднем составляет 500-700 суток и при эксплуатации в осложненных условиях может снижаться до 30 – 90 суток [6].

Поэтому с одной стороны УЭЦН должны обладать максимальным коэффициентом полезного действия, а с другой стороны иметь высокую надёжность.

С 2014 года на кафедре электроэнергетики Тюменского индустриального университета реализуется два направления повышения эффективности добычи нефти УЭЦН: повышение энергетической эффективности [7-11] и увеличение эксплуатационной надежности установок [12, 13].

Суть первого направления заключается в уменьшении реактивной составляющей полной мощности, потребляемой погружных асинхронным электродвигателем [14, 15]. Для этого авторами предложено параллельно погружному асинхронному электродвигателю подключить внутрискважинный компенсатор реактивной мощности [14]. Данная компоновка УЭЦН позволяет улучшить энергетические показатели УЭЦН, за счет уменьшения потерь мощности в токопроводящих элементах электротехнического комплекса установки для добычи нефти [5, 7, 8, 15].

Второе направление заключается в предотвращении выхода из строя погружного электрооборудования при воздействии внешних импульсных перенапряжений. Внутрискважинные ограничители перенапряжения, предложенные авторами, снижают старение изоляции обмоток погружного электродвигателя вследствие нагрева кратковременными токами высокой частоты и амплитуды [12, 13].

Таким образом, реализуемые направления повышения эффективности добычи нефти установками электроцентробежных насосов, позволяют уменьшить энергопотребление и увеличить надежность установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копырин, В. А. Внутрискважинная компенсация реактивной мощности / В. А. Копырин, В. А. Иордан, О. В. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 1. – С. 29-32.

2. Копырин, В. А. Имитационное моделирование режимов работы погружного асинхронного электродвигателя / В. А. Копырин, О. В. Смирнов // Омский научный вестник. – 2018. – № 1 (157). – С. 58–62.

3. Влияние внутрискважинного компенсатора на падение напряжения в элементах электротехнического комплекса добывающей скважины / В. А. Копырин [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 9. – С. 117–124.

4. Копырин, В. А. Исследование устойчивости погружного асинхронного электродвигателя при использовании внутрискважинного компенсатора / В. А. Копырин, Ф. А. Лосев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 1. – С. 390–398.

5. Копырин, В. А. Повышение эффективности использования электроэнергии погружным оборудованием высокодебитных скважин / В. А. Копырин // Омский научный вестник. – 2018. – № 3 (159). – С. 47–51.

6. Логунов, А. В. Магнитогидродинамические насосы для добычи углеводородов на арктическом шельфе / А. В. Логунов, В. А. Копырин // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: материалы I международной молодежной научно-практической конференции. – Архангельск, 2018. – Т. 2. – С. 370-373.

7. Копырин, В. А. Оценка энергетической эффективности использования внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности / В. А. Копырин, О. В. Смирнов, А. Л. Портнягин // Омский научный вестник. – 2018. – № 2 (158). – С. 78–83.

8. Копырин, В. А. Оптимизация режимов потребления реактивной мощности установками электроцентробежных насосов / В. А. Копырин, О. В. Смирнов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 4. – С. 450–458.

9. Багуманова, К. Р. Способ повышения энергоэффективности и надёжности электротехнического комплекса механизированной добычи нефти / К. Р. Багуманова, Е. М. Костоломов, В. А. Копырин // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – Тюмень, 2015. – С. 10-13.

10. Шевелёва, А. В. Оценка искажения напряжения в электрических сетях нефтедобывающих предприятий / А. В. Шевелева, Е. М. Костоломов, В. А. Копырин // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – Тюмень, 2015. – С. 100-103.

11. Гара, Н. В. Современное энергоэффективное оборудование установок электроцентробежных насосов / Н. В. Гара, В. А. Копырин // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции Том IV. – Тюмень, 2015. – С. 171-175.

12. Сухачев, И. С. Совершенствование защиты от импульсных перенапряжений в системе «Трансформатор – питающий кабель – погружной электродвигатель» / И. С. Сухачев, С. В. Сидоров, В. В. Сушков // Промышленная энергетика. – 2017. – № 9. – С. 7–12.

13. Сухачев, И. С. Методика оценки энергии, воздействующей на изоляцию электрооборудования нефтяной скважины при импульсных перенапряжениях / И. С. Сухачев, С. В. Сидоров, В. В. Сушков // Омский научный вестник. – 2017. – № 6 (156). – С. 87–91.

14. Пат. 145053 Российская Федерация, МПК G 05 F 1/70, H 02 J 3/18. Внутрискважинный компенсатор реактивной мощности / Копырин В. А., Гара Н. В., Портнягин А. Л., Смирнов О. В.; патентообладатель ООО «Научно-производственная компания «Техойл»», № 2014116437/07; заявл. 23.04.14; опубл. 10.09.14, Бюл. № 25.

15. Копырин, В. А. Влияние параметров внутрискважинного компенсатора на энергетические показатели электротехнического комплекса добывающей скважины // Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием – Омск, 2017. – С. 272–275.

УДК 621.3

ОБЗОР МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ НАГРУЗКИ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Логунов А. В.¹, бакалавр, logunovav97@mail.ru

Эглит Э. К.¹, магистрант, rvaklei@inbox.ru

Попова А. В.², магистрант

Антропова В. Р.², магистрант

¹г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

²г. Нижневартовск, Нижневартовский государственный университет

Аннотация. В статье приведен краткий обзор мероприятий по повышению устойчивости узлов нагрузки нефтяной промышленности. Сформулирована цель дальнейшей научной работы.

Ключевые слова: устойчивость узлов нагрузки, мероприятия по повышению устойчивости узлов нагрузки, методика расчета устойчивости

Технологические системы нефтяных предприятий тесно связаны с системой электроснабжения, надежность которых напрямую влияет на работоспособность всего предприятия. Наиболее частым видом нарушения электроснабжения в нефтяной отрасли являются провалы и прерывания напряжения [1]. Они могут вызвать нарушение устойчивости узлов электродвигательной нагрузки, что ведет к большим экономическим потерям из-за простоя оборудования [2,3]. Для повышения запаса устойчивости узлов нагрузки применяются различные устройства, например, быстродействующий автоматический ввод резерва, динамические компенсаторы искажений напряжения, защиты от потери устойчивости, дополнительные емкостные элементы в звеньях постоянного тока преобразователей частоты [4-6].

Перед применением мероприятий по повышению устойчивости узлов электродвигательной нагрузки выполняют расчет запаса устойчивости по напряжению и границы динамической устойчивости (ГДУ) [7]. Согласно методике [8] рассчитывается схема замещения узла нагрузки, далее на трансформаторную подстанцию подаются провалы напряжения различной длительности и глубины, и вычисляется точка ГДУ, затем цикл повторяется и получается кривая. Одними из основных факторов, влияющих на устойчивость, являются состав нагрузки и режим её работы, также оказывает влияние вид провала напряжения, при несимметричном провале появляется напряжение обратной последовательности, уменьшающее устойчивость нагрузки [9-12].

В данной методике не рассматривается вариант питания узла нагрузки от генератора соизмеримой мощности, хотя многие нефтяные предприятия имеют собственные электростанции.

Таким образом, целью работы является разработка теоретически-обоснованной методики оценки устойчивости узлов электродвигательной нагрузки при питании от источника ограниченной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартьянов, А. С. Кратковременные нарушения электроснабжения в электрических сетях нефтяных месторождений / А. С. Мартьянов, В. В. Сушков, И. С. Небилович / Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы V Международной научно-практической конференции. – Нижневартовск, 2016. - С. 123-126.

2. Martianov, A. S. Ride-through solutions: Classification and comparison / A. S. Martianov, V. V. Sushkov // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – 2016. – P. 1–4.

3. Sushkov, V. V. Specific of ride through solutions for electric submersible pumps with adjustable speed drive / V. V. Sushkov, A. S.

Martianov // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). - 2014. - С. 7005681.

4. Повышение устойчивости погружных электродвигателей установок электрических центробежных насосов при провалах напряжения с помощью адаптивной защиты минимального напряжения / Ф.А. Лосев [и др.] // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 10. – С. 40-48.

5. Ершов, М. С. Вопросы повышения устойчивости электрической нагрузки промышленных систем электроснабжения / М. С. Ершов, А. В. Егоров // Промышленная энергетика. - 1994. - № 3. - С. 20-22.

6. Мартьянов, А. С. Оценка эффективности применения накопителей энергии для повышения динамической устойчивости электропогружных установок добычи нефти / А. С. Мартьянов, Ф. А. Лосев, В. В. Сушков // Промышленная энергетика. - 2018. - № 1. - С. 7-12.

7. Ершов, М. С. Устойчивость промышленных электротехнических систем / М. С. Ершов, А. В. Егоров, А. А. Трифонов. – Москва : ООО «Издательский дом «Недра», 2010. - 319 с.

8. Лосев, Ф. А. Разработка методики и алгоритмов оценки влияния несимметричных провалов напряжения на устойчивость узла асинхронной электродвигательной нагрузки нефтяных месторождений / Ф. А. Лосев, В. В. Сушков // Омский научный вестник. - 2018. - № 4 (160). - С. 94-98.

9. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учеб. для электроэнергет. спец. вузов / В. А. Веников. - Москва : Высшая школа, 1985. - 536 с.

10. Абрамович, Б. Н. Динамическая устойчивость работы установок электроцентробежных насосов / Б. Н. Абрамович, Д. А. Устинов, В. Е. Поляков // Нефтяное хозяйство. - 2010. - № 9. - С. 104-106.

11. Ершов, М. С. О влиянии состава нагрузки на устойчивость промышленных электротехнических систем / М. С. Ершов, А. В. Егоров, Ю. В. Новоселова // Промышленная энергетика. - 2004. - № 10. - С. 36-41.

12. Ершов, М. С. Энергетические показатели устойчивости асинхронных многомашинных промышленных комплексов / М. С. Ершов, А. В. Егоров, А. С. Одинец // Промышленная энергетика. - 1999. - № 2. - С. 20-23.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Лосев Ф. А., ассистент кафедры электроэнергетики, fedor_los@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Нарушение устойчивости узлов электродвигательной нагрузки является одним из наиболее опасных нарушений электроснабжения. Для предотвращения подобных ситуаций используют различные устройства, но для их выбора не существует единого критерия, позволяющего оценить эффективность их применения. В статье предлагается методика оценки экономической целесообразности мероприятий по повышению устойчивости узлов электродвигательной нагрузки, включающая в себя экономические и технические факторы.

Ключевые слова: устойчивость узлов нагрузки, экономическая эффективность, коэффициент запаса устойчивости по напряжению, коэффициент зависимости источников питания

Наиболее частым видом нарушения электроснабжения являются короткие замыкания, которые приводят к провалам и прерываниям напряжения на шинах узлов электродвигательной нагрузки, что может повлечь за собой нарушение устойчивости узла нагрузки. При этом возникнет лавина напряжения, которая ведет к отключению потребителей и экономическим потерям (упущенной прибыли). Для снижения вероятности потери устойчивости узлов нагрузки применяют различные устройства, например, динамические компенсаторы искажений напряжения, источники бесперебойного питания. Кроме того, повысить устойчивость узла нагрузки позволяет своевременное автоматическое переключение с рабочего на резервный источник питания (ИП), например, с помощью быстродействующего автоматического ввода резерва. Однако, выбор типа и мощности устройств для повышения устойчивости представляется сложной задачей, так как все они обладают преимуществами и недостатками. Таким образом, разработка методики оценки экономической целесообразности мероприятий по повышению устойчивости узлов электродвигательной нагрузки является актуальной.

Для оценки эффективности повышения устойчивости узлов нагрузки предлагается использовать как экономические, так и технические факторы.

С экономической точки зрения повышение устойчивости узла нагрузки представляет собой инвестиционный проект, одной из основных характеристик которого является коэффициент экономической эффективности капитальных вложений [1]:

$$K_3 = \frac{\mathcal{E}_t}{3}, \quad (1)$$

где 3 - капитальные вложения в мероприятия по повышению устойчивости; \mathcal{E}_t - экономический эффект от повышения устойчивости, достигаемый в течение 1 года.

При этом капитальные затраты могут включать в себя не только стоимость новых устройств, но и стоимость изменения распределительной сети. Основная составляющая экономического эффекта - упущенная прибыль предприятия из-за простоя оборудования.

В качестве технических критериев предлагается использовать коэффициент запаса устойчивости по напряжению и коэффициент зависимости источников питания, так как они позволяют наиболее полно охарактеризовать устойчивость узла электродвигательной нагрузки.

Для определения коэффициента запаса устойчивости по напряжению сначала находится граница динамической устойчивости узла нагрузки по методике [2,3].

Затем коэффициент запаса устойчивости по напряжению определяется по выражению [4]:

$$K_{3y} = \frac{S_{уст}}{S_{общ}}, \quad (2)$$

где $S_{уст}$ - площадь области устойчивой работы, ограниченная границей динамической устойчивости и единицей по оси напряжения; $S_{общ}$ - площадь области, ограниченная единицей по оси напряжения и временем ввода резерва $t_{пр}$ по оси длительности провала напряжения.

Для нахождения коэффициента зависимости ИП составляется математическая модель сети внешнего электроснабжения на основе моделей элементов [5] и во всех узлах моделируются короткие замыкания, при этом определяются узлы короткие замыкания в которых приводят к глубоким провалам напряжения на рассматриваемых источниках. Далее по параметрам потока отказа линий электропередачи определяется количество отказов для каждого узла электрической сети внешнего электроснабжения и находится коэффициент зависимости источников питания по выражению [6]:

$$K_3 = \frac{N_{1,2}}{N_1 + N_2 - N_{1,2}}, \quad (3)$$

где N_1 - число критических провалов напряжения на первом ИП за время наблюдения T , N_2 - число критических провалов напряжения на втором ИП за время наблюдения T , $N_{1,2}$ - число одновременных критических провалов напряжения на обоих ИП за время наблюдения T .

На следующем этапе на основании полученных коэффициентов рассчитывается ожидаемое годовое количество отключений узла нагрузки по причине потери устойчивости по выражению:

$$N = \begin{cases} N_0 K_3, & \text{если } N_n = 0 \text{ или } K_3 > 0,5 \\ \frac{N_n}{1 - K_3}, & \text{если } K_3 \leq 0,5 \end{cases}, \quad (4)$$

где N_0 - ожидаемое количество провалов напряжения, приводящих к нарушению устойчивости узлов нагрузки, в системе электроснабжения потребителя согласно статистическим данным; N_n - ожидаемое количество отключений потребителей, рассчитанное по многомерному показателю устойчивости [7,8].

Ожидаемое количество критических провалов позволяет связать экономические и технические критерии путем определения ожидаемого времени простоя оборудования:

$$t_n = T_{en} N, \quad (5)$$

где T_{en} - среднее время восстановления питания при аварийном отключении узла нагрузки.

Таким образом, предложена методика оценки экономической целесообразности мероприятий по повышению устойчивости узлов электродвигательной нагрузки, позволяющая учитывать коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, коэффициент запаса устойчивости по напряжению и коэффициент зависимости источников питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нешиной, А. С. Инвестиции: учебник / А. С. Нешиной. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2007. – 372 с.
2. Лосев, Ф. А. Разработка методики и алгоритмов оценки влияния несимметричных провалов напряжения на устойчивость узла асинхронной электродвигательной нагрузки нефтяных месторождений / Ф. А. Лосев, В. В. Сушков // Омский научный вестник. - 2018. - № 4 (160). - С. 94-98.
3. Лосев, Ф. А. Оценка влияния сечения питающего кабеля на устойчивость погружного электродвигателя / Ф. А. Лосев, А. С. Мартыанов // Новые технологии - нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - Тюмень, 2017. - С. 229-232.
4. Егоров, А. В. Устойчивость асинхронных многомашинных комплексов при внешних многопараметрических возмущениях / А. В. Егоров, Ю. В. Новоселова // Промышленная энергетика. - 2000. - № 11. - С. 24-27.
5. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учеб. для электроэнергет. спец. вузов / В. А. Веников. - Москва : Высшая школа, 1985. - 536 с.

6. Ершов, М. С. Методы оценки надежности и независимости источников питания в системах промышленного электроснабжения / М. С. Ершов, А. В. Егоров, В. А. Анцифоров // Промышленная энергетика. – 2014. - № 1. – С. 2-6.

7. Martianov, A. S. Ride-through solutions: Classification and comparison / A. S. Martianov, V. V. Sushkov // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – 2016. – P. 1–4.

8. Мартьянов, А. С. Обоснование технических решений для повышения динамической устойчивости установок добычи нефти с электрическими центробежными насосами / А. С. Мартьянов, В. В. Сушков // Омский научный вестник. - 2017. - № 6 (156). - С. 105-111.

УДК 621.3

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

Мансуров М. О., магистрант, mansurovmax@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: Рассматриваются принципы управления потерями мощности в распределительных электрических сетях. Анализ технических и коммерческих потерь и разработка мероприятий по снижению потери электроэнергии. В каждой распределительной электрической сети присутствует потребность снижения потерь электроэнергии. Рассматриваются показатели качества электрической энергии и их влияние на режимы работы нескольких городских трансформаторных подстанций. Предложены к разработке мероприятия в городских электрических сетях по снижению потерь электроэнергии за счет снижения несимметрии в линиях 0,4 кВ

Ключевые слова: распределительные электрические сети; потери электроэнергии; реконструкция электрических сетей; оценка эффективности реконструкции сети.

Электроэнергия это продукция на передачу которого до потребителя, затрачивается часть самой продукции. Оптимизация процесса передачи это главная задача в энергосбережении.

Основная задача – обеспечение бесперебойной и качественной электроэнергией с наименьшими затратами. Потери электроэнергии состоят из двух основных составляющих –технических и коммерческих. На сегодняшний день достоверно известно что большая часть потерь приходится на 6-10кВ.

В распределительных сетях РФ потери значительно выше допустимых. Высокий уровень потерь обусловлен слаборазвитой измерительно-контрольной комплексной системой.

Для того чтобы соблюдалось условие адаптивности сетей в ближайшем будущем, в настоящее время необходимо строить сети с возможностью перевода их на напряжение 20 кВ. Кроме того, строительство и реконструкцию линий электропередачи следует осуществлять на установленный срок службы по элементам ВЛ (-40 лет), а замена отдельных элементов линий за ее жизненный цикл является экономически нецелесообразной.

Для строительства и последующей эксплуатации электрических сетей напряжением 20 кВ необходимо обозначить основные технические требования к конструкциям и оборудованию в электрических сетях данного напряжения.

Реконструкция распределительных сетей подразумевает собой замену устаревших деревянных опор на железобетонные, неизолированные провода заменяются на СИП, подстанции реконструируются в комплектный тип, и модернизация приборов учёта.

Общие требования к распределительным электрическим сетям напряжением 20 кВ:

- электрическая и экологическая безопасность функционирования сетевых объектов;
- надежность электроснабжения с учетом требований потребителей, роста электрических нагрузок и объемов потребления электроэнергии;
- нормированный уровень качества электрической энергии;
- развитие распределительных электрических сетей России на основе активно-адаптивной сети.

Требования к защите электрических сетей 20 кВ от грозových перенапряжений:

Для защиты от перенапряжений ВЛ 20 кВ следует применять:

- разрядники длинно-искровые;
- ограничители перенапряжений нелинейные;
- заземление опор с нормированными значениями величины сопротивления заземления.

Потерями электроэнергии можно управлять:

- баланс между ценой цепи и потерями;
- единый способ учета потерь мощности и энергии;

Для единообразного способа учёта разработаны методические материалы, которые необходимо постоянно совершенствовать так как современные ЭВМ открывают новые возможности для ведения учёта, а распределительные сети низких и средних номинальных напряжений реконструируются. Для поддержания потерь электроэнергии на оптимальном уровне, необходимо контролировать и анализировать потери, с целью их дальнейшего снижения.

На основе расчета технических (нагрузочных) потерь и составляющие коммерческих потерь, производим анализ существующей организации учета электроэнергии.

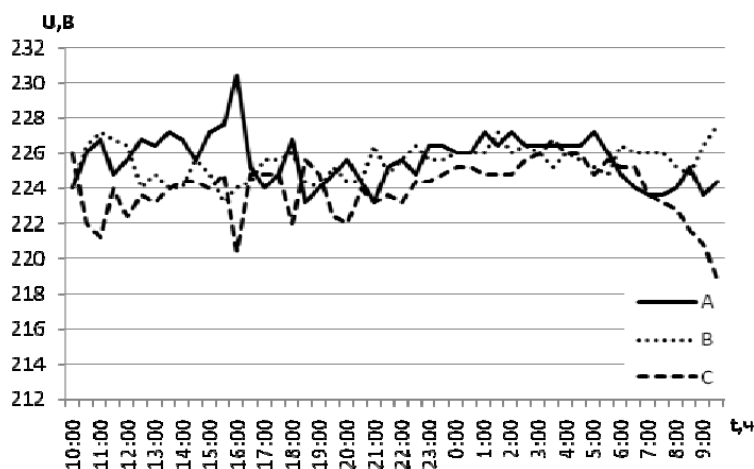


Рис. 1. Суточный график изменения фазных напряжений на ПС Декабристов 16А Ввод-1

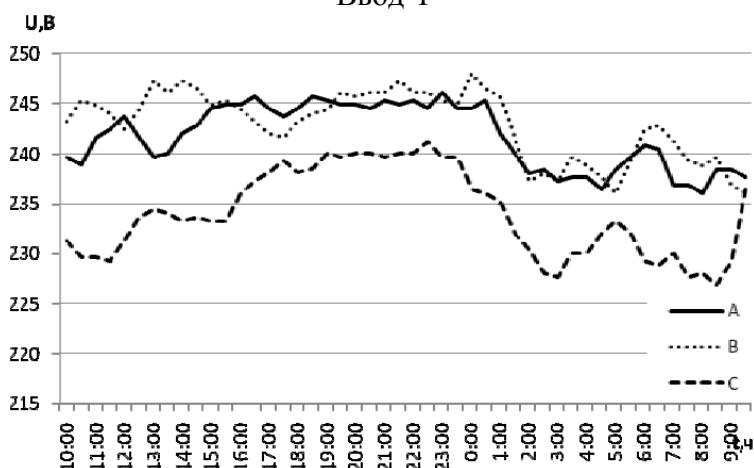


Рис. 2. Суточный график изменения фазных напряжений на КТПН 127-3 Ввод-1

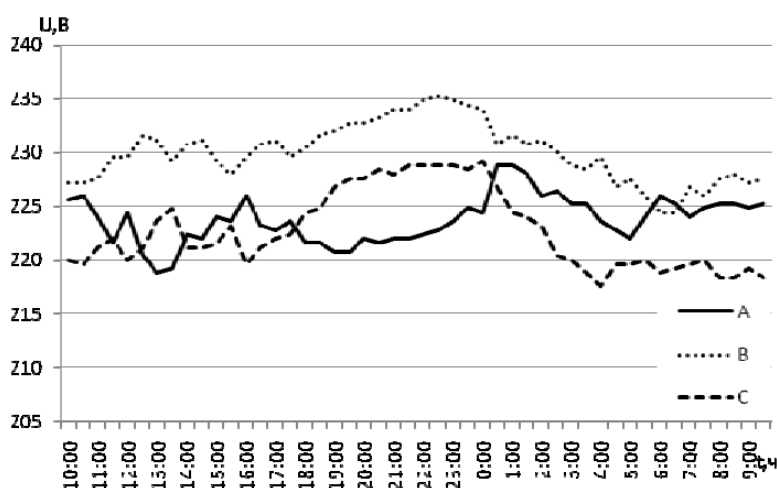


Рис. 3. Суточный график изменения фазных напряжений на ПС МОСШ-1

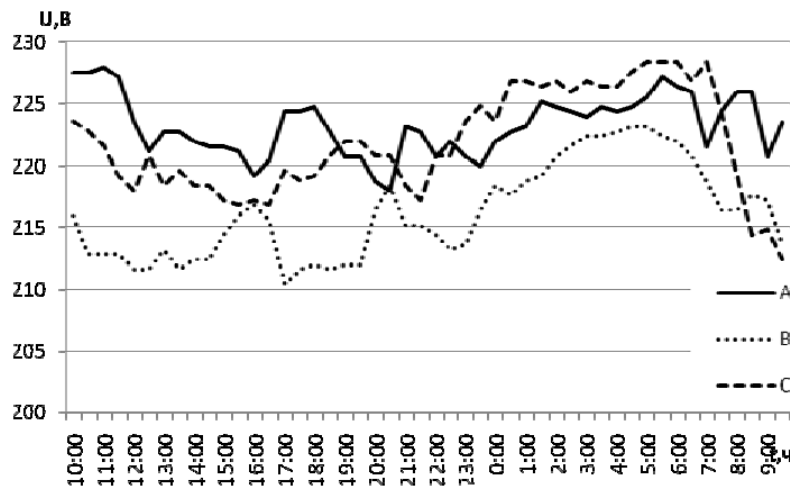


Рис. 4. Суточный график изменения фазных напряжений на ПС Мира Ввод-2

Проведенный анализ данных инструментальных обследований указывает на необходимость проведения работ по симметрированию нагрузок не только на подстанциях городских электрических сетей, но и во внутридомовых сетях 0,4 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бохмат, И. С. Снижение коммерческих потерь в электрических системах / И. С. Бохмат, В. Э. Воротницкий, Е. П. Татаринцов // Электрические станции. - 1998. - № 9. - С. 54-58.
2. Савина, Н. В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях / Н. В. Савина. - Новосибирск: Наука, 2008. - 221 с.
3. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. - Москва : Изд-во НЦ ЭНАС, 2009. - 456 с.

УДК 621.311

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Махмутова В. Р., магистрант, lera.maxmutova95@mail.ru
 Власова Е. П., канд. техн. наук., доцент, vlasovaep@tyuiu.ru
 г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Научная обзорная статья по вопросам реализации и эксплуатации цифровых подстанций.

Ключевые слова: цифровая подстанция (ЦПС), стандарт МЭК 61850, релейная защита и автоматика, интеллектуальные электрические сети, программно-аппаратный комплекс цифровой подстанции (ПАК ЦПС).

Согласно приказу Минэнерго России №143 от 01.03.2017 «Об утверждении схемы и программы развития ЕЭС России на 2017-2023гг. » переход на подстанции нового поколения на полный цифровой формат в настоящее время является задачей первостепенной важности на территории всей Российской Федерации и в перспективе дает существенные технические и экономические преимущества.

Открытие первой фактически полностью цифровой подстанции 110/10 кВ имени М.П. Сморгунова состоялось в Красноярске 22 декабря 2017г. с участием Министра энергетики Российской Федерации Александра Новака. Современная цифровая система управления позволяет значительно повысить надежность за счет высокой степени автоматизации, наблюдаемости и управляемости подстанции, постоянного мониторинга работоспособности систем. Такой подход также дает возможность значительно снизить эксплуатационные затраты.

В Китае еще в 2003 году началась исследовательская работа по созданию цифровых подстанций (ЦПС). А в марте 2006 г. была введена в работу первая цифровая подстанция с реализацией шины процесса (с высшим напряжением 110 кВ). К концу 2013 г. общее количество подстанций с применением шины процесса насчитывало 893.

По планам Китайской государственной сетевой компании активно осуществляются экспериментальные проекты ЦПС и работа по совершенствованию соответствующих стандартов.

По Тюменской области разрабатывается опытно-конструкторская работа «Цифровая подстанция» ПС 110/6 кВ НПС – 1 ЛПДС «Уват». Тобольского управления магистральных нефтепроводов.

ЦПС представляет собой классическую подстанцию, предназначенную для приема, преобразования и распределения электрической энергии, оснащенную программно-аппаратным комплексом, работающим на принципах передачи сигнала в цифровом виде, и обеспечивающей максимальную автоматизацию процессов измерения, управления и защиты оборудования.

Внедрение ЦПС позволяет перейти на качественно новый этап управления и контроля режимами работы энергообъектов.

Основными преимуществами ЦПС на этапе строительного-монтажных работ (СМР) являются:

1) *Уменьшение общего количества оборудования за счет использования различными системами одних и тех же источников информации.*

Доступ ко всей информации на ЦПС осуществляется с помощью унифицированных типов данных и методов доступа, сведенных в единый коммуникационный стандарт МЭК 61850. Все подсистемы ЦПС (защиты, управления, измерения, мониторинга, учета и контроля качества электроэнергии) при выполнении своих функций используют одну и ту же коммуникационную сеть, по которой получают данные о значениях аналоговых величин, положениях коммутационных аппаратов и управляющих воздействиях.

2) Сокращение количества медных кабельных связей

В отличие от традиционных подстанций, ЦПС имеет меньшее количество медных кабельных связей для построения индивидуальных систем измерения и информационного взаимодействия для различных подсистем.

3) Сокращение затрат на наладку оборудования за счет проведения большей части инженеринговых работ и испытаний в заводских условиях, а не на объекте внедрения.

Согласно протоколу МЭК 61850 на этапе проектирования создается информационная модель подстанции, включающая в себя файлы на языке конфигурации SCL.

4) Сокращение расходов на непроизводительные перемещения персонала за счет возможности централизованной настройки и контроля параметров работ.

На этапе строительно-монтажных работ происходит:

- сокращение наиболее трудоемких и нетехнологичных видов монтажных и пусконаладочных работ, связанных с прокладкой и тестированием вторичных цепей;

- сокращение времени пуско-наладочных работ за счет возможности централизованной настройки и контроля параметров оборудования;

- снижение стоимости кабельной системы. Цифровые вторичные цепи позволяют осуществлять мультиплексирование сигналов, что предполагает двухстороннюю передачу через один кабель большого количества сигналов от разных устройств.

В состав ЦПС должны входить:

- первичное (силовое) энергетического оборудования (ЭО), ЭО СН и система оперативного постоянного тока (СОПТ);

- цифровые измерительные трансформаторы;

- программно-аппаратный комплекс цифровой подстанции (ПАК ЦПС) (Рис.1).

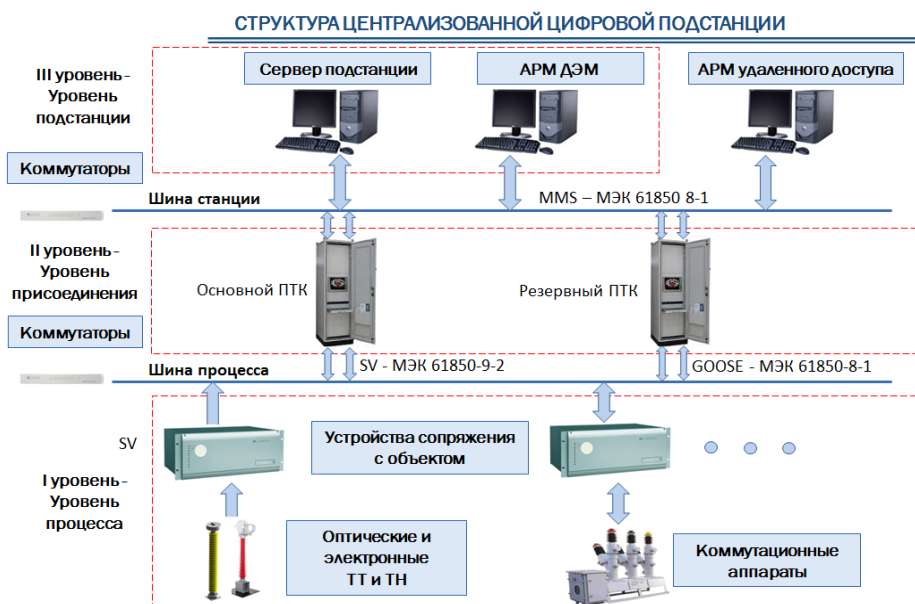


Рис.1. Структурная схема ПАК ЦПС централизованного типа

Программно-аппаратный комплекс цифровой подстанции (ПАК ЦПС) предназначен для:

- контроля электрических параметров, состояния схемы коммутационного оборудования и защит;

- управления коммутационными аппаратами.

ПАК ЦПС должен обеспечивать выполнение следующих функций:

- релейной защиты и автоматики (РЗА);
- оперативной блокировки;
- контроля и диагностики первичного оборудования ЦПС;
- контроля качества электрической энергии (ККЭЭ);
- сигнализации неисправностей, аварий и ненормальных режимов работы;

- регистрации, архивирования и хранения технологической информации;

- связи с другими системами автоматизации и информационными системами вышестоящего уровня;

- структурированного представления технологической информации;

- защиты от несанкционированного доступа;

- тестирование и самодиагностика оборудования и подсистем;

- автоматизированного программирования и конфигурирования.

Переход к широкому использованию технологий информационного моделирования объектов энергетики откроет возможность добиться снижения общих затрат на весь жизненный цикл объектов: от строительства до вывода из эксплуатации и утилизации. Цифровая подстанция, ориентированная на будущее, адаптированная к созданию интеллектуальной электрической сети, будет постепенно развиваться в

соответствии с прогрессом техники и практическим распространением интеллектуальной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдиярова, Э. К. Цифровая подстанция – важный компонент интеллектуальной сети / Алдиярова Э. К. // Естественные и технические науки: опыт, проблемы, перспективы. - 2016. - № 2. - С. 45-48.

2. Алексинский, С. О. Варианты архитектурных решений системы релейной защиты и автоматики «цифровой подстанции» 110-220 кВ / С. О. Алексинский // Вестник ИГЭУ. – Вып. 1. – 2011. – С. 42-47.

3. Горелик, Т. Г. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / Т. Г. Горелик, О. В Кириенко, Н. А. Дони // Релейная защита и автоматика энергосистем: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. - Москва, 2012. - С. 10–17.

4. Забелкина, Б. А. О создании объекта нового поколения “цифровая подстанция” / Б. А. Забелкина, Ю. А. Васильева // Энергетика Татарстана. - 2011. - № 2. - С. 11-14.

УДК 621.31

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СОВМЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯ

Москвина О.И., магистрант

Немятова Ю.С., магистрант

Попенко Е.В., магистрант

Садыкова Л.Л., магистрант

Хмара Г.А., канд. техн. наук, доцент, hmaraga@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В статье приведено обоснование перехода от централизованных систем управления режимами энергосистем к децентрализованным через промежуточное развитие систем управления режимами работы простейших энергообъединений. Предложено изучить возможности совместного управления источниками реактивной мощности внутри энергообъединения с целью разработки алгоритмов, позволяющих минимизировать потери электроэнергии при ее передаче с условием поддержания напряжения в узле нагрузки на заданном уровне, создавая тем самым активные агенты – энергообъединения. Сформулирована цель и задачи для дальнейшего исследования.

Ключевые слова: система управления напряжением и реактивной мощностью, централизованная АСУ, децентрализованная АСУ, мультиагентная АСУ.

Устройства регулирования напряжением и реактивной мощности (НРМ) в электроэнергетических системах применяют с целью снижения потерь реактивной мощности, возникающей вследствие высокой емкостной составляющей, обусловленной большой протяженностью линий электропередачи, либо высокой индуктивности, связанной с использованием большого числа электрических машин. Также из-за передачи дополнительных объемов реактивной мощности в сетях происходит падение напряжения, что в свою очередь вызывает еще большее увеличение потребляемой реактивной мощности. Из-за неравномерного графика нагрузки и возникновения режимов, отличных от номинальных, в указанных сетях существует проблема увеличения реактивной составляющей мощности при обеспечении допустимых значений напряжения в узлах нагрузки. Таким образом, поддержание напряжения в узле нагрузки на заданном номинальном уровне приводит к увеличению потерь в системах передачи электроэнергии, а используемые компенсирующие устройства в них, прежде всего, предназначены для регулирования напряжения в узлах нагрузки.

Повышение энергоэффективности систем передачи электрической энергии является актуальной научно-технической задачей. Используемый сегодня подход к решению данной задачи – это централизованная система управления, где степень участия устройств регулирования НРМ определяется исходя из критерия оптимизации по минимуму потерь при передаче электроэнергии. Альтернативным решением может стать совместное управление устройствами регулирования НРМ, находящимися в разных узлах системы передачи с обеспечением минимальных потерь, например, децентрализованная мультиагентная система управления НРМ (МАСУ НРМ) разработку которой ведет АО «НТЦ ФСК ЕЭС» [1], в которой каждый агент является активным и сам определяет свой вклад в регулирование НРМ.

Переход от централизованных систем управления к децентрализованным мультиагентным автоматическим системам управления (МАСУ) сопряжен с трудностями, связанными с недостаточной изученностью влияния каждого отдельного устройства регулирования НРМ на систему электроснабжения и их взаимодействие между собой в различных режимах. То есть устройства регулирования НРМ не могут пока стать действительно активными агентами МАСУ НРМ. Переходным вариантом между централизованными АСУ НРМ и децентрализованными МАСУ НРМ должны стать системы управления энергообъединениями, следовательно, необходимо изучить возможность управления НРМ внутри небольшого энергообъединения, создавая тем

самыми активными агентами – выделенные участки систем электроснабжения. Следующим шагом станет выделение активных агентов внутри рассмотренных энергообъединений.

Активный агент – энергообъединение представляет собой выделенный участок электроэнергетической системы, в котором производится управление напряжением в узле нагрузки, то есть поддержание действующей величины напряжения на заданном уровне, и совместное управление источниками реактивной мощности в передаче электрической энергии для минимизации ее потерь.

Основная идея данной работы заключается в регулировании режима работы энергообъединения путем управления источниками реактивной мощности при условии обеспечения номинального напряжения в заданном узле нагрузки и минимизации потерь в системе передачи электрической энергии. То есть целью работы является снижение потерь электрической энергии при ее передаче способом совместного регулирования устройств реактивной мощности при условии поддержания напряжения в узле нагрузки номинальной величины. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие способы минимизации потерь при передаче электрической энергии, связанные с управлением источниками реактивной мощности [2,3].

2. Разработать и исследовать режимы работы простейшего энергообъединения, содержащего источники реактивной мощности, на лабораторном стенде [4].

3. Разработать и исследовать математическую модель простейшего энергообъединения, содержащего источники реактивной мощности, исследованного на лабораторном стенде.

4. Разработать алгоритм управления источниками реактивной мощности в исследуемом энергообъединении. Исследовать режимы работы энергообъединения при использовании алгоритма АСУ НРМ на лабораторном стенде.

Решение данных задач позволит приблизиться к алгоритмам создания децентрализованной МАСУ НРМ. В заключении следует отметить, что в перспективе децентрализованные системы управления позволят гибко управлять режимами энергосистем, повысить энергоэффективность системы передачи электрической энергии, повысить быстродействие систем управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протокол от «09» июня 2017 г. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Некоммерческого партнерства «Научно-технический

совет Единой энергетической системы». – Режим доступа: http://nts-ees.ru/sites/default/files/2017.05.30_mas.pdf.

2. Волкова, П. К. Анализ опыта использования мультиагентной системы управления напряжением и реактивной мощностью в системе электроснабжения 220 кВ / П. К. Волкова, Г. А. Хмара // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов. – Тюмень, 2018. - С. 242-244.

3. Москвина, О. И. Понятие мультиагентной системы управления напряжением и реактивной мощностью / О. И. Москвина, Ю. С. Немятова, Е. В. Попенко, Г. А. Хмара // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов. – Тюмень, 2018. - С. 289-291.

4. Константинов, И. В. Система управления параметрами сети / И. В. Константинов, А. Л. Портнягин // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов. – Тюмень, 2018. - С. 264-266.

УДК 622

ДЕПАРАФИНИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Наумкин А. А., магистрант, artem_naumkin_00@mail.ru

Власова Е. П., канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроэнергетика»,
vlasovaep@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация: Депарафинизация является неотъемлемым звеном технологического процесса нефтеперерабатывающей промышленности. Технические и физико-химические характеристики различных способов депарафинизации позволяют определить наиболее целесообразное применение процесса депарафинизации.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электрический ток, нефтетрубопровод, магнитный активатор, минимизация расходов.

Для эффективного и выгодного транспорта нефти существует ряд мероприятий по минимизации расходов. Одним из таких мероприятий является очистка внутренних поверхностей от парафина. Центрами кристаллизации парафинов могут служить примеси железа, которые содержатся в попутной воде и в нефти в концентрациях от 10 до 500 г/т. Эти примеси сформированы, в основном, ферромагнитными микрокристаллами окислов железа. Нефтеводогазовая смесь, поступающая в скважину, содержит в своем составе агрегаты природных ферромагнитных микрокристаллов железа (ФМЖ). При прохождении нефтегазоводяной смеси через область специально сформированного магнитного поля происходит разрушение агрегатов ФМЖ (в идеальном случае на отдельные частицы). На частицах ФМЖ происходит отложение и рост кристаллов парафинов. Скорость радиального перемещения включений из объема нефти в радиальном направлении пропорциональна их объему. Поэтому при увеличении числа центров кристаллизации, например, в n -раз, во столько же раз уменьшится средний размер кристаллов парафина и скорость их переноса к более холодной стенке трубопровода [1].

Стоит выделить последствие отложения парафина в нефтепроводе. Данный процесс приводит к значительному уменьшению проходного сечения нефтепровода. Этот факт, в свою очередь, приводит к значительной закупорке трубопровода вплоть до полной остановки перекачки нефти [1].

Электрический ток применяется с давних пор на промыслах Сахалина. В первое время применялся сердечник, на который подавался электрический ток от источника питания. В дальнейшем в ТатНИПИнефть стали применять индукционные нагреватели, обеспечивавшие надёжную и безопасную работу всей конструкции. Были попытки использования электропечи, спускаемой в скважину на канате. Все эти конструкции ненадёжны, а потому не нашли широкого применения. В настоящее время используется методика, при которой нагрев осуществляют специальным нагревательным кабелем. В ходе подготовительных мероприятий определяют зону максимального образования парафина. Затем рассчитывают длину нагревательного кабеля и температуру его нагрева. Важно при этом учитывать скорость нефтяного потока и содержание парафина в перекачиваемой нефти. Данный метод позволяет проводить высокоэффективную очистку нефтепровода в непрерывном режиме [1].

Еще один метод депарафинизации основан на использовании различных полей, ультразвуковых и механических колебаний для воздействия на нефть, содержащую парафин в своём составе. Перспективным направлением является на нефть переменными электромагнитными полями. При этом учитывают состав и свойства обрабатываемой нефти, интенсивность поля и режим обработки. В ходе

обработки нефтяного потока полем в нефти образуются дополнительные центры кристаллизации. Они позволяют снизить образование кристаллов на стенках трубопровода, так как кристаллы образуются в объеме нефти. В нашей стране применяют в последние годы магнитные цилиндры, подвешиваемые в трубах. В объеме нефти при воздействии электромагнитного поля возникают дополнительные центры кристаллизации и последующий флотационный вынос парафина. Вышеупомянутый способ борьбы с отложениями парафинов реализуется с помощью специальных устройств - магнитных активаторов и открывает новые возможности в борьбе с парафинизацией трубопроводов. Магнитный активатор трубопроводный (МАТ) состоит из двух основных частей – внешней трубы, имеющей фланцы для установки на трубопровод, и внутренней трубы, внутри которой находятся магниты, создающие в зазоре между трубами постоянное магнитное поле. Магнитные активаторы производства Сибирского химического комбината (г. Северск, Томская область) отличаются особо мощными постоянными магнитами на основе редкоземельных металлов (РЗМ) типа «неодим-железо-бор» или «самарий-кобальт». Удельная энергия постоянных магнитов на основе РЗМ достигает 35 – 50 кДж/м³, что в 8 - 11 раз превосходит показатели обычных магнитных материалов [2].

Нефтепроводы России – одна из ключевых составляющих топливно-энергетического сектора экономики страны. Одной из основных технических проблем является проблема повышения провозной способности трубопроводов. Зависимость провозной способности нефтепровода от диаметра трубы может быть проиллюстрирована следующими цифрами: при диаметре 720 мм -- 15 млн. т в год; 1020 мм -- 45 млн. т; 1420 мм -- 75млн.т. В нашей стране основная сеть трубопроводов имеет диаметр до 1020 мм. Поэтому проблема минимизация расходов нефтетрубопровода актуальна в наши дни. Анализ вышеперечисленных способов депарафинизации показал достоинства и недостатки данных методов.Целью дальнейшего научного исследования является разработка универсального способа депарафинизации нефтетрубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы очистки внутренних поверхностей нефтепроводов от парафина [Электронный ресурс] // Нектон Сиа. – Режим доступа: <https://necton-sea.ru>.
2. Шишмина Л. В. Предотвращение отложений парафина с помощью магнитного поля [Электронный ресурс] / Л. В. Шишмина // Сбор и подготовка продукции нефтяных скважин. – Режим доступа: <https://helpiks.org/7-32066.html>.

3. Власова, Е. П. К электрической теории парафинизации нефтепромысловых труб / Е. П. Власова, С. И. Кицис // Известия вузов. Нефть и газ. - 2002. - № 5. - С. 12-16.

4. Власова, Е. П. Исследование влияния параметров нефти и параметров трубопровода на процессы электризации нефти / Е. П. Власова, С. И. Кицис // Известия вузов. Нефть и газ. - 2007. - № 4. - С. 32 - 40.

5. Кицис, С. И. Метод расчетно-аналитического исследования влияния параметров нефти и трубопроводного транспорта на процессы электризации нефти / С. И. Кицис, Е. П. Власова, А. Э. Путко // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2008. - № 3. - С. 30-34.

УДК 621.315.1

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Новикова М. В., магистрант, maria_vovikova@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Проблема ограниченной пропускной способности линии электропередачи является актуальной, поэтому данную тему изучают и по сегодняшний день. Целью статьи является анализ способов решения данной проблемы, которые применяются и при проектировании или реконструкции нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: воздушная линия, пропускная способность, способы повышения.

Для нефтегазовых месторождений возможна ситуация, в процессе их разработки, когда необходимо увеличение пропускной способности воздушной линии, поэтому данная тема является актуальной. Применение новых технологий в электроэнергетике позволяют решить этот вопрос, уменьшив при этом затраты на строительство и эксплуатацию объекта.

Так, выведено несколько способов решения данной проблемы, некоторые из которых описаны в данной статье.

1. Строительство новых линий электропередачи. А именно размещение дополнительной линии электропередачи на существующих опорах, или прокладка новых воздушных линий с использованием усовершенствованных видов проводов повышающих пропускную способность линий.

2. Повышение класса напряжения для передачи мощности. Этот вариант решает сразу две проблемы – увеличивает пропускную способность линий электропередачи и уменьшает потери при передаче

мощности. Но для данного решения при реконструкции необходима замена оборудования, поэтому, с экономической точки зрения, целесообразней использовать его для проектирования электроснабжения объекта.

3. Замена проводов на новейшие, с высокой термостойкостью и малым весом. Также можно применять тот же провод с увеличенным сечением, но тогда увеличится и его масса.

4. Повышение нагрузки действующей линии. Не всегда замена провода является лучшим решением для повышения пропускной способности линии электропередачи из-за длительного прерывания работы, поэтому для решения этой проблемы можно сохранить провод путем изменения верхней рабочей температуры в пределах допустимых значений в соответствии с погодными условиями и ограничением провеса проводов и техническими условиями старения их материала.

5. Ограничение провеса проводов. Для этого при увеличении нагрузки повышают натяжение провода, изменяют конструкцию подвески и укорачивают изолирующую подвеску без уменьшения ее электрической прочности.

Возможность повышения нагрузки с помощью увеличения провеса провода на существующей линии зависит от максимально допустимой температуры, длины пролета и типа провода.

Натяжение провода может быть снижено уменьшением длины пролета в критических зонах, установкой подпорок в середине пролета или критических местах линии.

6. Повышение нагрузки воздушной линии с учетом метеоусловий. Этот способ основан на повышении средней рабочей температуры провода по результатам статистических данных о погодных условиях на трассе линии. Так, устанавливаются датчики температуры и провеса проводов вдоль линии, на основании данных которых диспетчер регулирует нагрузку линии. Но при этом должна быть обеспечена возможность изменения режима и соответствующее его планирование.

В каждом способе есть достоинства и недостатки, что дает стремление в исследовании каждого из них. Применение данных решений в системе электроснабжения оправдано, и они требуют улучшения с целью повышения пропускной способности линии электропередачи, увеличения эффективности использования электроэнергии с наименьшими при этом затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, Г. Н. Режимы работы воздушных линий электропередачи / Г. Н. Александров. - Москва: Центр подготовки кадров энергетики, 2016. – 139 с.

2. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии : учебное пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – 3-е изд. перераб. – Москва : КНОРУС, 2012. – 648 с.

3. Механошин, Б. И. Повышение эффективности использования существующих ВЛ на основе анализа их технического состояния и данных мониторинга температуры проводов / Б. И. Механошин // Электро. - 2007. - № 6. - С. 12 - 18.

УДК 621.31

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Орлов В. С., ст. преподаватель, orlov.vs@mail.ru.

Попов Е. И., бакалавр, arg.nocturne@mail.ru.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В настоящей работе рассмотрены схемные исполнения аккумуляторных батарей, входящих в системы оперативного постоянного тока выявлены недостатки существующих решений, предложена новая схемная реализация, лишенная основных недостатков.

Ключевые слова: система оперативного постоянного тока, аккумуляторная батарея, резервирование, балансировка, схемное исполнение.

В настоящее время электроснабжение вторичных цепей подстанций производства на предприятиях нефтегазовой отрасли обеспечивается за счет систем оперативного постоянного тока. Согласно техническому стандарту ОАО «ФСК ЕЭС» СОПТ должны обеспечивать рабочее и резервное питание таких электроприемников как устройства релейной защиты и автоматики, устройства сигнализации, противоаварийной автоматики и других [1]. Наиболее уязвимыми звеньями всей системы на сегодняшний день являются АКБ и AC/DC преобразователи. Схемное исполнение существующих аккумуляторных батарей оставляет желать лучшего и нуждается в оптимизации. Для начала рассмотрим некоторые использующиеся схемные реализации.

Наибольшей популярностью среди схемных исполнений пользуется ШУОТ-2406 [2]. Реже используется схема с резервированием батарей [3]. Также встречается схема с защитой конечных батарей [4]. Все три исполнения имеют несколько общих недостатков: не предусмотрено резервирование ячеек аккумуляторов либо батарей в принципе, общие шины нагрузки, отсутствие балансировки заряда в аккумуляторах и контроля напряжения на батареях и нагрузке. Важно отметить, в при

простое АКБ начинаются процессы сульфатации и саморазряда, следовательно, устройство нуждается в постоянном подзаряде [5].

На рисунке 1 представлена новая разработанная авторами схемная реализация системы оперативного тока.

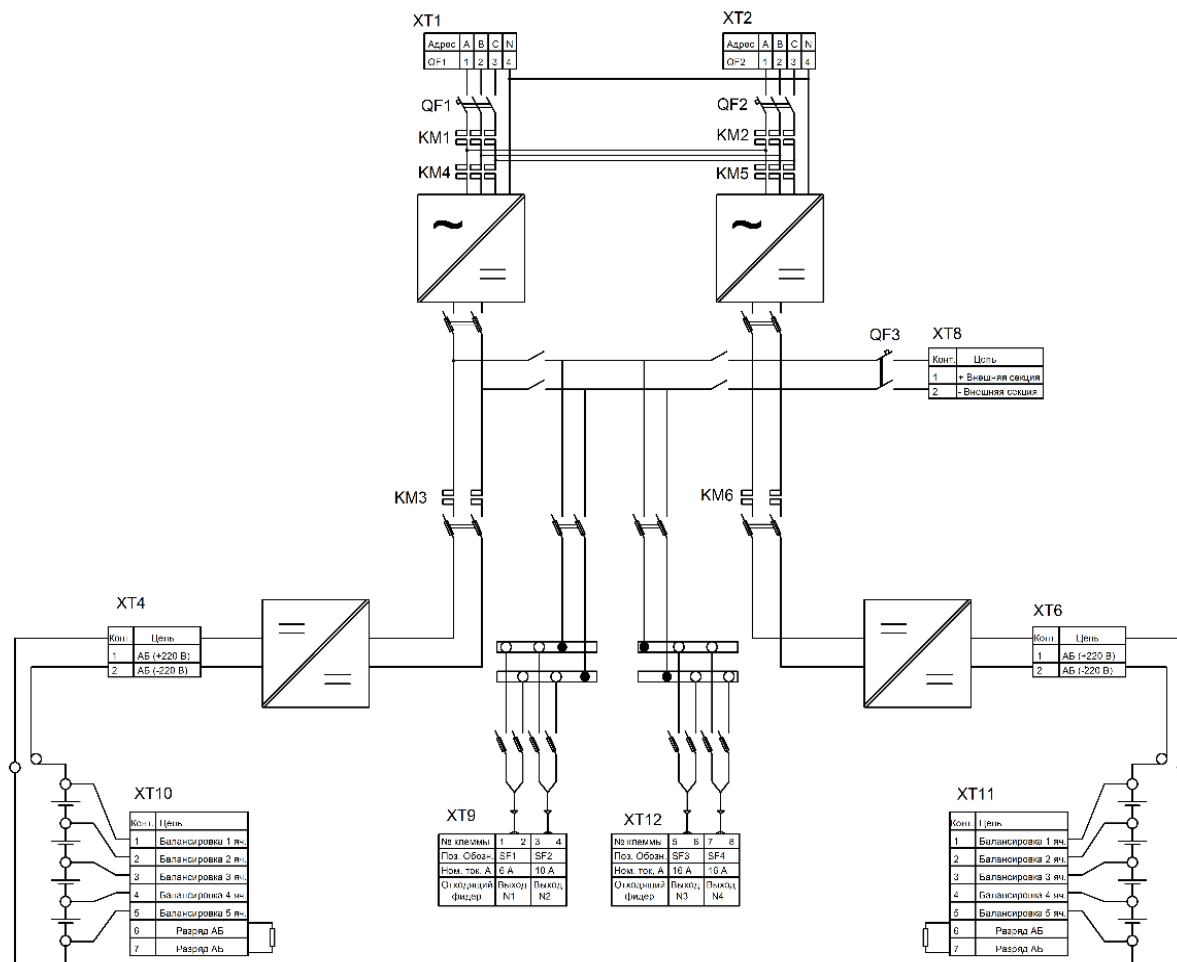


Рис. 1. Предлагаемая схемная реализация

Управляя режимом заряда АКБ путем регулирования напряжения на выходах из преобразователей, мы регулируем ток заряда, предотвращая сульфатацию электродов, металлизацию сепараторов и другие повреждения АКБ, тем самым снижая скорость их старения. В данной схеме мы используем активные балансиры конденсаторного типа, обеспечивающие наибольшую экономичность и скорость балансировки ячеек [6]. Номинальная емкость аккумуляторов приводится для номинальной продолжительности разряда в 10 часов [7]. Однако для СОПТ станций и подстанций характерны меньшие периоды разряда. Это влечет за собой увеличение интенсивности разряда батарей и соответственно большие потери энергии, выражающиеся в уменьшении напряжения на аккумуляторе [8].

Стоит отметить, что внутреннее сопротивление АКБ состоит и суммы сопротивлений электролита, сепараторов, электродов, поляризации [9]. Очевидно, что параметры батарей не могут быть идентичными, и присутствие в последовательной цепи аккумуляторов элемента с повышенным внутренним сопротивлением вследствие его деградации сказывается на общем напряжении батарей и на их заряде, а значит и на режиме работы АКБ [10]. Таким образом, балансиры оптимизируют режимы заряда и разряда батарей, предотвращая деградацию аккумулятора и, следовательно, его преждевременное старение.

Разработанная схема лишена основных недостатков существующих решений. Также были установлены два дополнительных DC/DC преобразователя. Таким образом можно сохранять оптимальное напряжение на нагрузке вне зависимости от того, какое напряжение на батареях. Аналогично можно поддерживать необходимое напряжение на самих батареях независимо от нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования [Электронный ресурс]: стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС»: СТО 56947007-29.120.40.041-2010 : утверждён и введён в действие приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 29.03.2010 № 191, изменения введены приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 14.12.2012 № 777 - Режим доступа: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.120.40.041-2010.pdf
2. Шкаф управления оперативным током ШУОТ-2406 [Электронный ресурс]: конструкторская документация ЮДНИ-006.01-21.00.00.00. – Режим доступа: <http://www.zavodes.ru/index/0-16>
3. Горянский, А. Особенности схемных реализаций систем оперативного постоянного тока / А. Горянский // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2011. – №7. – С. 92-94.
4. Филатов, А. А. Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом / А. А. Филатов. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. - 324 с.
5. Каменев, Ю. Б. Потенциодинамическое исследование процесса сульфатации отрицательных активных масс свинцово-кислотного аккумулятора / Ю. Б. Каменев, Н. И. Чунц, С. Р. Балушкина // Электрохимическая энергетика. – 2010. – Т. 10, № 2. – С. 71-78.
6. Проблема мониторинга и балансировки аккумуляторных батарей транспортных средств / А. П. Иншаков [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2016. – Т. 26, № 1. – С. 40-49.
7. Аккумуляторы свинцово-кислотные. Общие технические условия: ГОСТ 26881-86: утвержден и введен в действие постановлением гос.

комитета СССР по стандартам от 25 апреля 1986 г. N 1101 – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 32 с.

8. Выбор стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей для систем оперативного постоянного тока / Ю. П. Гусев [и др.] // Энергоэксперт. – 2015. – № 3. – С. 48-52.

9. Стартерные аккумуляторные батареи. Устройство и ремонт / М. А. Дасоян [и др.]. – Москва : Транспорт, 1991. – 255 с.

10. Подчасов, А. Ю. Система контроля и управления зарядом аккумуляторных батарей / А. Ю. Подчасов, М. А. Кищенко // Современные информационные и электронные технологии. – 2015. – Т. 1, № 15. – С. 189-190.

УДК 621.31

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Орлов В. С., ст. преподаватель, orlov.vs@mail.ru

Сафронов С. Н., бакалавр, safronov-sn-17-1@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе предложен способ увеличения ресурса и повышения надежности автомобильных аккумуляторных батарей.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, температура, сульфатация, управление зарядом.

В настоящее время средний срок службы автомобильной аккумуляторной батареи (АКБ) составляет от 3 до 4 лет, вместо 12-15 возможных при правильных условиях эксплуатации. Основными причинами этого являются: неэффективно регулируемый процесс зарядки аккумуляторной батареи, изменения температуры окружающей среды, саморазряд батареи, сульфатация свинцовых пластин аккумулятора.

Низкие температуры оказывают негативное влияние на рабочие характеристики аккумуляторных батарей, уменьшается разрядное напряжение на зажимах аккумуляторных батарей, значительно снижается пусковая мощность батарей. Это связано с увеличением вязкости электролита при низких температурах, что приводит к увеличению сопротивления электрическому току, а также затрудняется перемешивание, необходимое для проникновения свежего электролита в поры активной массы электродов.

При высоких температурах быстро понижается уровень электролита в аккумуляторах, из-за повышенного испарения воды, что приводит к

повышенной коррозии токоотводов положительных электродов и увеличивает самозаряд батарей при хранении. Также возможен перезаряд батарей, что в свою очередь может привести к ускорению коррозии и сокращению срока службы батарей.

Работа АКБ по накоплению и расходу энергии основана на обратимой электрохимической реакции. При этом должен соблюдаться баланс, все компоненты участвовать в энергообмене. Сульфатация представляет образование нерастворимого осадка на поверхности пластин аккумулятора в виде твердого налета. Из процесса выводится свинец, кислотный остаток SO_4 , а также снижается концентрация электролита. Оседая на пластинах, осадок повышает сопротивление, мешает передаче заряда. В результате устройство теряет емкость.

Наиболее оптимальным решением этой проблемы является контролирование зарядного тока и напряжения аккумулятора, с учетом температуры окружающей среды. Оптимальный процесс зарядки показан на рисунке 1.

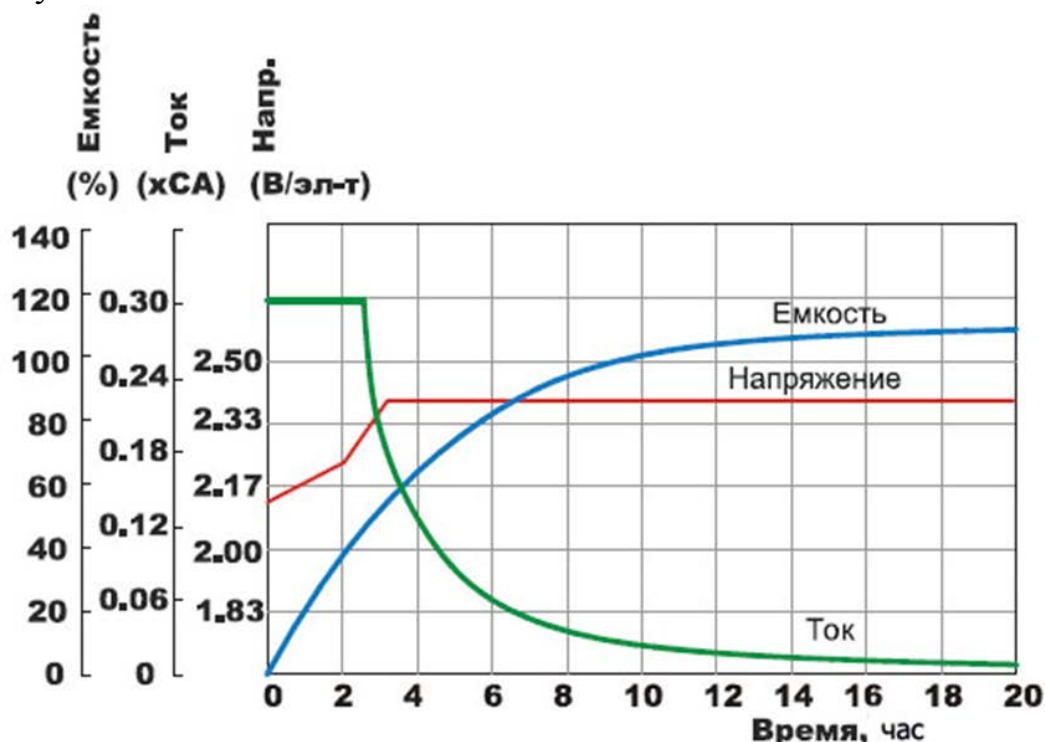


Рис. 1. Оптимальный процесс зарядки.

Для увеличения ресурса аккумуляторной батареи и повышения надежности можно использовать устройство, управляющее процессами заряда и разряда батареи. Схема устройства представлена на рисунке 2.

Блок регулирования напряжения на нагрузке (БРНнАБ) поддерживает оптимальное напряжение на зажимах аккумуляторной батареи, независимо от напряжения, выдаваемого генератором, что обеспечивает стабилизацию зарядного тока, предотвращает сульфатацию пластин батареи и «выкипание» электролита, а также гарантирует зарядку

батареи даже в условиях предельно низких температур окружающей среды.

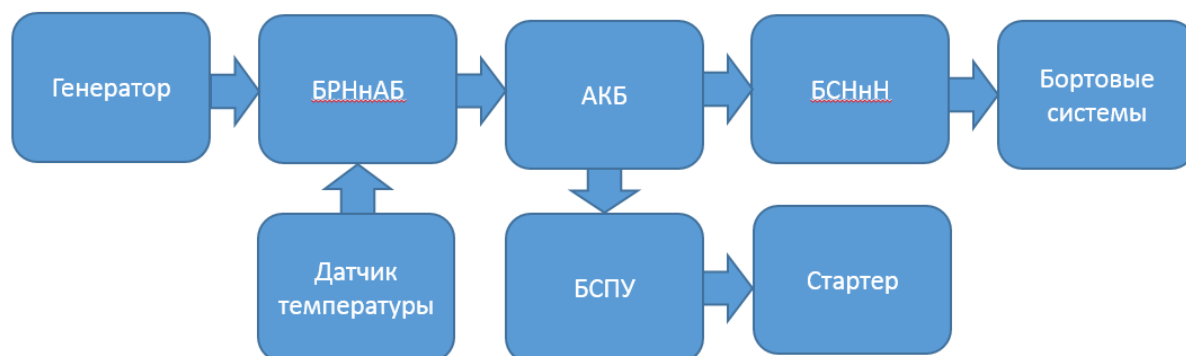


Рис. 2. Схема устройства для увеличения ресурса и повышения надежности автомобильной аккумуляторной батареи.

Блок стабилизации напряжения на нагрузке (БСНнН) обеспечивает нормальное напряжение в бортовой питающей сети (12,5 В) независимо от напряжения на клеммах аккумулятора

Блок стартово-пускового устройства (БСПУ) позволяет снизить пусковые токи батареи при запуске двигателя, а также обеспечивает гарантированный запуск даже при глубоком разряде аккумулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каменев, Ю. Б. Потенциодинамическое исследование процесса сульфатации отрицательных активных масс свинцово-кислотного аккумулятора / Ю. Б. Каменев, Чунц Н. И., Балущкина С. Р. // Электрохимическая энергетика. – 2010. – Т. 10, № 2. – С. 71-78.
2. Проблема мониторинга и балансировки аккумуляторных батарей транспортных средств / А. П. Иншаков [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2016. – Т. 26, № 1. – С. 40-49.
3. Аккумуляторы свинцово-кислотные. Общие технические условия: ГОСТ 26881-86: утвержден и введен в действие постановлением гос. комитета СССР по стандартам от 25 апреля 1986 г. N 1101 – Москва : Издательство стандартов, 1986. – 32 с.
4. Стартерные аккумуляторные батареи. Устройство и ремонт / М. А. Дасоян [и др.]. – Москва : Транспорт, 1991. – 255 с.
5. Подчасов, А. Ю. Система контроля и управления зарядом аккумуляторных батарей / А. Ю. Подчасов, М. А. Кищенко // Современные информационные и электронные технологии. – 2015. – Т. 1, № 15. – С. 189-190.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАВКИ НАЛЕДИ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Орлов В. С., ст. преподаватель кафедры «Электроэнергетика»,
orlov.vs@mail.ru.

Шеломенцев В. А., бакалавр, shelomentsevva72@mail.ru.
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. При эксплуатации воздушных линий электропередач в районах с высокой влажностью и низкой температурой в осенне-зимний и весенне-зимний периоды при выпадении влаги и налипании мокрого снега на провода возникает проблема образования гололедно-изморозевых отложений. Существующие методы борьбы с обледенением имеют ряд недостатков, на базе которых разработано новое решение, основанное на электротермическом методе, который выгодно отличается от существующих повышенной энергетической эффективностью за счет использования скин-эффекта и отсутствием необходимости отключения потребителей при плавке наледи за счет использования нового оборудования. Для определения параметров разработана математическая модель системы «воздушная линия электропередач» - «установка для плавки наледи».

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, гололедно-изморозевые отложения, плавка наледи, скин-эффект, математическая модель.

Для определения параметров установки для плавки наледи на воздушных линиях электропередачи токами высокой частоты была разработана математическая модель.

Исходя из погодных условий образования наледи, заданы радиус среднего образования наледи $R=25$ мм и параметры стандартного провода марки АС-70.

Так как, плавка полного объема наледи энергетически нецелесообразна и осуществляется также под действием собственного веса обледенения, то для расчёта объема льда применяется сегмент, вычисленный геометрически при помощи радиуса провода:

$$r = \sqrt{\frac{s}{\pi}} / 1000 = 0,005 \text{ м}, \quad (1)$$

где $s = 70 \text{ мм}^2$ – площадь сечения проводника.

Толщину сегмента, аппроксимируя проводник с обледенением (рисунок 1), геометрически можно найти из формулы:

$$h = \sqrt{R^2 - r^2} = 0,0245 \text{ м} \quad (2)$$

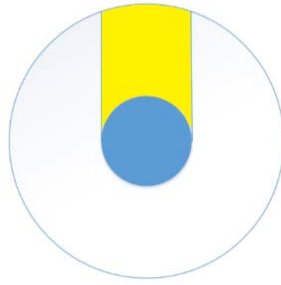


Рис. 1. Толщина сегмента наледи

Чтобы рассчитать потери на нагрев и фазовое преобразование льда, необходимо знать объем обрабатываемой наледи, который можно получить из формулы [1]:

$$V_{\text{л}} = S \cdot L = 0,232 \text{ м}^3, \quad (3)$$

где $L = 1000 \text{ м}$ – расчетная длина одного участка; S – площадь сечения сегмента обрабатываемого участка, полученная из уравнения:

$$S = 2 \cdot h \cdot r = 0,00023 \text{ м}^2 \quad (4)$$

Из (4) и табличного значения плотности льда можно получить массу гололедных отложений на обрабатываемом участке [2]:

$$m_{\text{л}} = V_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{л}} = 209 \text{ кг}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$ – плотность льда.

Задаваясь табличными параметрами льда и беря в расчёт перепад температуры интенсивного гололедообразования $\Delta t^{\circ} = 10^{\circ}$ [3,4], можно найти затраты на нагрев, плавление и суммарные затраты:

$$Q_{n_{\text{л}}} = C_{\text{л}} \cdot m_{\text{л}} \cdot \Delta t^{\circ} = 4,38 \text{ МДж}, \quad (6)$$

где $C_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – удельная теплоемкость льда.

$$Q_{\text{п}} = \lambda_{\text{л}} \cdot m_{\text{л}} = 68,8 \text{ МДж}, \quad (7)$$

где $\lambda_{\text{л}} = 330000 \text{ Дж/кг}$ – удельная теплоемкость плавления льда.

$$Q_{\Sigma_{\text{л}}} = Q_{n_{\text{л}}} + Q_{\text{п}} = 73,22 \text{ МДж} \quad (8)$$

Также необходимо учесть потери на нагрев сталеалюминиевого провода, задав табличные параметры алюминия и беря в расчёт перепад температуры интенсивного гололедообразования $\Delta t^{\circ} = 10^{\circ}$:

$$Q_{n_{\text{ал}}} = C_{\text{ал}} \cdot m_{\text{ал}} \cdot \Delta t^{\circ} = 4,38 \text{ МДж}, \quad (9)$$

где $C_{\text{ал}} = 904 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – удельная теплоемкость алюминия,

$$\text{а } m_{\text{ал}} = V_{\text{ал}} \cdot \rho_{\text{ал}} = 190 \text{ кг}, \quad (10)$$

где $V_{\text{ал}} = 0,07 \text{ м}^3$ – объем километрового провода АС-70; $\rho_{\text{ал}} = 2712 \text{ кг/м}^3$ – плотность провода АС-70.

Рассчитав затраты на нагрев и плавление обрабатываемого участка и учитывая потери на нагрев провода, можно посчитать суммарные

энергетические затраты и стоимость плавки участка, исходя из стоимости электрической энергии за кВт·ч:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Sigma_a} + Q_{на} = 74,93 \text{ МДж}, \quad (11)$$

или $Q_{\Sigma} = 20,81 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ – при переводе Дж в кВт·ч.

Тогда стоимость электрической энергии на плавку льда на обрабатываемом участке воздушной линии составит:

$$S_{э\text{э}} = Q_{\Sigma} \cdot T_{э\text{э}} = 55,82 \text{ руб./км}, \quad (12)$$

где $T_{э\text{э}} = 2,68 \text{ руб.}$ – стоимость электрической энергии за кВт·ч.

Задаваясь количеством обрабатываемых участков и требуемым временем плавки, можно вычислить мощность установки на одну фазу.

К примеру, при времени плавки $\tau = 6 \text{ мин.}$ и количестве участков $N=20 \text{ (км)}$ мощность установки составит:

$$P_{уст} = \frac{Q_{\Sigma} \cdot N}{t} = 4166,27 \text{ кВт}, \quad (13)$$

где $t = 0,1 \text{ ч.}$ – время плавки в часах.

Расчеты показывают, что разработанная установка способна обеспечить плавку наледи на участке линии длиной до 20 километров на классе напряжений 6 (10) кВ без выведения линии из эксплуатации. Потребляемая мощность при этом составляет не более 4 МВт, время плавки - от 6 до 15 минут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров, Е. П. Распределение веса гололедообразования на проводах различного диаметра / Е. П. Никифоров // Труды ВНИИЭ. –1961. - Вып.11. - С. 281-282.
2. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 11-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.
3. Глухов, В. Г. Метеорологические условия образования гололеда на высотных сооружениях / В. Г. Глухов. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. - 98 с.
4. Кингсеп, А. С. Основы физики. Курс общей физики: учебник в 2 т. Т. 1: Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 560 с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА СЕЧЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Петров С.В., магистрант, psvtmn2@gmail.com.

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Выбор сечений воздушных и кабельных линий – одна из важнейших задач при проектировании электрических сетей. А следовательно при строительстве и эксплуатации линий электропередач поднимается вопрос оптимизации затрат. В настоящее время в научно-технических журналах публикуются работы, и ведутся дискуссии на тему выбора методов расчета экономической плотности тока, на котором основывается выбор сечений воздушных и кабельных линий в современных экономических условиях, что подчеркивает актуальность работы. Целью данной работы является анализ существующих методов выбора сечений проводников.

Ключевые слова: экономическая плотность тока, сечение проводов, экономические токовые интервалы.

Методы выбора сечения проводников по экономической плотности тока и экономическим интервалам основаны на сравнении вариантов по критерию минимума приведенных затрат и используются при рассмотрении развития сети.

Рекомендации по применению метода расчета экономической плотности тока приведены в работе [1]. Таблица нормативных значений для разных условий выбора сечений воздушных и кабельных линий по экономической плотности тока приведены в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ).

В настоящее время значения приведенные в ПУЭ не учитывают появления самонесущих изолированных проводов (СИП), кабелей, выполненных с изоляцией из сшитого полиэтилена, а также изменения цен электрической энергии.

Невзирая на достоинства, применение метода выбора сечений воздушных и кабельных линий по экономической плотности тока обладает рядом недостатков согласно [2]. Наиболее существенные недостатки заключаются при определении сечения по и часто при выполнении расчета получается величина, которая находится между двумя стандартными значениями, а также не учитывается влияние изменений передаваемой мощности с момента ввода линий в эксплуатацию до момента достижения расчетного значения нагрузки. Предложения по усовершенствованию методики технико-экономического выбора сечений жил воздушных и кабельных линий на основе современных показателей публиковались неоднократно. На основе расчетов в работе [3] В.П. Фрайштетером и А.С

Мартьяновым указываются неверные результаты в выборе сечения проводников при использовании действующих значений экономической плотности тока. Авторы рекомендуют выбирать сечение жил кабелей путем сравнения суммарных дисконтированных затрат. В работе [4] Е.Н. Приклонский приводит анализ, в результате которого делает вывод, что данные значения в ПУЭ на имеют завышенные значения и рекомендует выбирать минимальные сечения, которые соответствуют допустимым значениям по техническим условиям, что приведет к минимуму капитальных затрат.

На основании проведенного анализа методов выбора сечений воздушных и кабельных линий был выявлен ряд недостатков. Из этого следует, что в существующем виде методики выбора сечений воздушных и кабельных линий требует пересмотра, особенно значения экономической плотности тока и допустимых токов. Различные конструкции, условия местности, широкий диапазон стоимости кабельной продукции и цен на электроэнергию по территории Российской Федерации не дают точно определить значения. Учет реального экономического положения на стадии проектирования кабельных сетей и воздушных линий электропередачи повышает целесообразность принятых решений и эффективность использования электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гительсон, С. М. Экономические решения при проектировании электроснабжения промышленных предприятий / С. М. Гительсон. – Москва : Энергия, 1971. – 256 с.
2. Зуев, Э. Н. Экономическая плотность тока в кабельных линиях 6-10 кВ в современных условиях / Э. Н. Зуев // Электро. – 2004. - № 5. – С. 43-46.
3. Фрайштетер, В. П. Выбор экономически обоснованного сечения проводов и жил кабелей линий электропередачи при проектировании / В. П. Фрайштетер, А. С. Мартьянов // Нефтяное хозяйство. – 2011. - № 4. - С. 117-121.
4. Приклонский, Е. Н. Оптимальная плотность тока в проводах, кабелях и шинах / Е. Н. Приклонский // Электричество. - 1950. - № 11. - С. 3-9.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Петухова Н. Н., аспирант, petyxovanatalya@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Выравнивание графиков электрических нагрузок в часы максимума активных нагрузок предприятия одна из основных задач при выборе потребителей-регуляторов. В данной статье электрические нагрузки рассматриваются как статистический ряд, а также выравнивание теоретической кривой нормального распределения.

Ключевые слова: оптимизация электропотребления, график электрических нагрузок, статистический ряд

Одним из основных направлений экономии электрической энергии нефтехимических предприятий является оптимизация электропотребления. Реализация данного направления связана с разработкой более производительного и экономичного технологического процесса, оптимизацией режимов работы электрооборудования и сокращением непроизводственных расходов электроэнергии.

Основными направлениями оптимизации электропотребления нефтехимических комплексов являются такие как:

- организация и ведение технологического процесса в соответствии с режимами предприятия данного часового пояса;
- оптимальная загрузка оборудования;
- автоматизированный технический учет электроэнергии по установкам, цехам и предприятию в целом.

Ведение технологического процесса в соответствии с режимами энергосистемы соответствующего часового пояса – сложная задача, связанная с изменением технологии комплексной глубокой переработке углеводородного сырья и снижением загрузки технологического оборудования. Одной из особенностей предприятий нефтехимической промышленности является то, что они относятся к предприятиям с довольно высоким (0,92-0,94) коэффициентом заполнения суточных графиков нагрузки по активной мощности и большим числом часов использования максимума активных нагрузок.

Более полную информацию об энергопотреблении предприятия дает изучение фактических графиков электрических нагрузок [1].

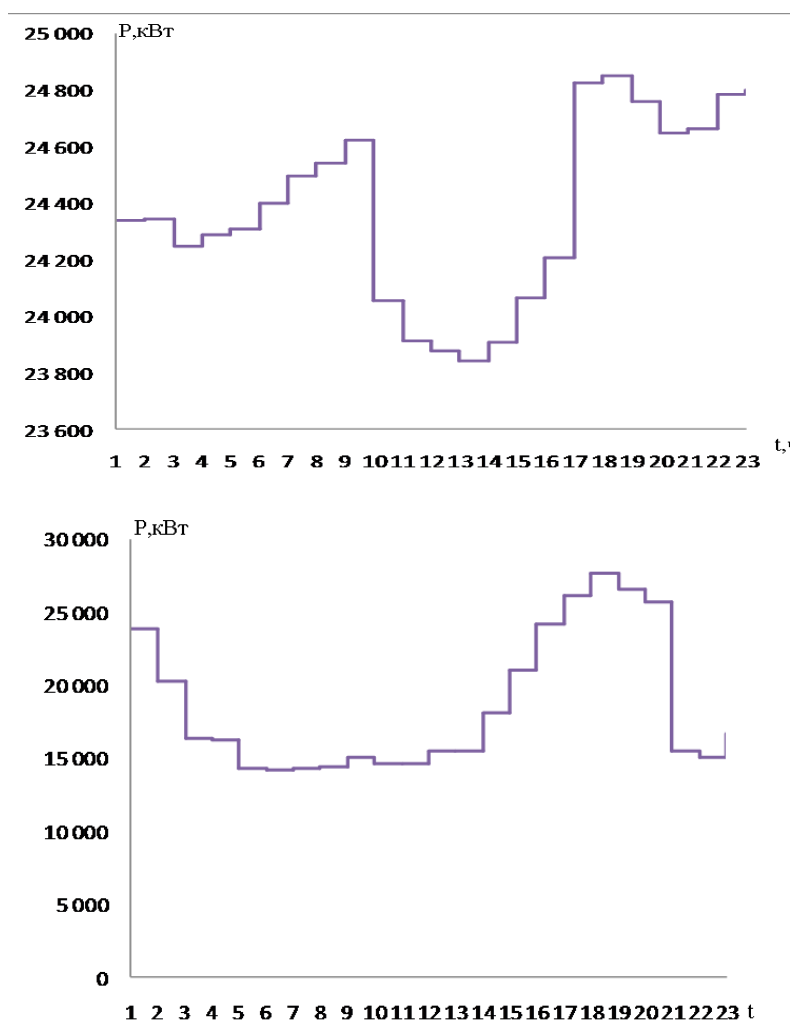


Рис.1 Графики среднечасовой нагрузки нефтехимического предприятия за летний и зимний периоды

Проанализируем графики нагрузки и зависимости электропотребления от выпуска продукции в течении суток, для того чтобы оценить возможности и диапазон регулирования нагрузки.

В таблице 1 представлены результаты обработки суточных графиков электропотребления нефтехимического завода. Учитывая данные таблицы, можно сделать вывод о том, что вероятность превышения среднесуточной нагрузки в часы максимума активных нагрузок предприятия высока. Как следствие, возникает необходимость выделения регулируемой мощности для выравнивания графиков нагрузки.

Сделаем предположение, для нахождения регулируемой мощности, что электрические нагрузки нефтехимических потребителей имеют нормальный закон распределения с плотностью вероятности:

$$F(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \exp\left[-\frac{(P_i - P_{cp})^2}{2\delta^2}\right], \quad (1)$$

где P_{cp} - математическое ожидание нагрузки, P_i - случайное значение нагрузки; δ - среднеквадратичное отклонение нагрузки [2].

Таблица 1

Результаты обработки суточных графиков электропотребления
нефтехимического завода

Показатели электропотребления	Летний период	Зимний период
Вероятность превышения среднечасовой нагрузки математического ожидания за год	0,583	0,542
Вероятность превышения нагрузки в часы утреннего максимума среднесуточной	0,625	0,625
Вероятность превышения нагрузки в часы вечернего максимума среднесуточной	0,6	0,4
Вероятность превышения нагрузки в часы максимума активных нагрузок энергосистемы среднесуточной	0,607	0,428
Колебания среднесуточной нагрузки $P_{cp.cym.max} / P_{cp.cym.min}$	1,99	1,12

Так как электрическая нагрузка зависит от множества независимых или слабозависимых параметров, каждый из которых можно рассматривать как случайный фактор, тогда кривая нормального распределения будет наилучшим образом выравнивать статистический ряд электрических нагрузок.

Для расчета теоретической и эмпирической кривых распределения электрических нагрузок необходимо получить статистический ряд и определить частоту выборки.

Выравнивающие частоты теоретической кривой нормального распределения определяются по формуле:

$$n_i^T = \frac{\Delta n}{\sigma_B} \varphi(u_i), \quad (2)$$

где $\varphi(u_i)$ - плотность общего нормального распределения; $u_i = (x_i - \bar{x}_B) / \sigma_B$, \bar{x}_B - выборочное среднее; x_i - среднее значение разряда электрических нагрузок.

Критерий, который позволит оценить расхождение между наблюдаемыми и ожидаемыми частотами и в тоже время позволит сделать проверку гипотезы, что распределение электрических нагрузок в течении суток подчиняется нормальному закону, является критерий χ^2 (критерий Пирсона):

$$\chi^2 = N \sum_{j=1}^k \left[\frac{(f_j - \Phi_j)^2}{\Phi_j} \right]. \quad (3)$$

Получив значение $\chi^2 = 6,63$ которое не превышает табличное, равное 11,1, можно сделать вывод о том эмпирическое распределение нагрузок подчиняется нормальному закону.

Для решения задачи по точному определению заявленного максимума нагрузки необходима разработка методов и алгоритмов нахождения мощности потребителей-регуляторов для выравнивания графиков электрических нагрузок при обеспечении бесконфликтности с технологическим процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов, М. С. Теоретические основы управления электропотреблением промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / М. С. Ершов, В. И. Доброжанов, Б. Г. Меньшов. – Москва : Нефть и газ, 1995. – 263 с.

2. Вероятностные характеристики энергопотребления нефтегазодобывающих предприятий / Д. А. Устинов [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. - 2011. - № 4. - С. 90-94.

УДК 621.3

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ ИНС

Рохлов В.А., бакалавр, rohlov.vlad.97@mail.ru
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Прогнозирование электропотребления важно для всех участников рынка мощности и электрической энергии, от энергосистемы до отдельных цехов и участков. Качественные методы прогнозирования электропотребления позволят выбрать наиболее эффективную стратегию развития энергосистемы, сократить затраты на электроэнергию, оценить влияние внешних факторов на потребление электрической энергии, повысить КПД системы, надежность, качество электроэнергии и т.д. В данной работе рассмотрен метод прогнозирования электрических нагрузок с помощью искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: нейронная сеть, прогнозирование, электроэнергетика.

Многие из разработанных методов прогнозирования представляют из себя комбинацию статистических алгоритмов, где выделяется базовая часть изменения электропотребления, либо изменение нагрузок рассматривается как случайный процесс. Точное моделирование затрудняется неполнотой данных многообразием различных технологических, экономических, метеорологических условий и

нелинейными зависимостями между этими условиями и потреблением электроэнергии [1].

На сегодняшний день самым перспективным методом прогнозирования нагрузок является прогнозирование с применением искусственных нейронных сетей (ИНС). Искусственная нейронная сеть, это компьютерная модель, представляющая из себя систему взаимосвязанных элементарных процессоров (искусственных нейронов), построенную по принципу нейронных сетей живых организмов. В построении нейронной сети можно выделить два основных этапа: выбор архитектуры ИНС и ее обучение (задание весов). В ходе первого этапа выбираются необходимые типы нейронов, способы их соединения, и входные и выходные сигналы. В качестве обучающей выборки может быть использован архив данных по нагрузкам энергосистемы [2].

Входными параметрами сети является совокупность факторов, влияющих на электропотребление. Анализ источников [3, 4] показал, что эти факторы можно разбить на три группы: технологические, метеорологические и экономические. Зачастую влияние внешних условий на нагрузки так же нуждается в прогнозировании.

Так же стоит отметить, что для качественного прогнозирования необходима тренировка ИНС, в ходе которой сеть тестируется по заранее известным данным и при необходимости дообучается.

Нейронные сети обладают рядом недостатков таких как малая скорость процесса обучения и сложность анализа уже обученной ИНС. Однако, многие из недостатков разрешаются применением систем с нечеткой логикой. Соображение об эквивалентности ИНС и систем с нечеткой логикой легло в основу нечетких нейронных сетей [5].

Одной из самых часто применяемых моделей ИНС стал многослойный персептрон, благодаря способности отражать сложные нелинейные отношения между входными и выходными параметрами. Данная модель состоит из одного входного слоя, одного выходного и одного или нескольких скрытых слоев [6]. Каждый слой состоит из нескольких нейронов, каждый из которых связан с нейронами в смежном слое. На рис.1 представлена модель персептрона, состоящего из трех слоев: один входной, один скрытый и один выходной. Такая ИНС дает возможность решать большинство задач с нелинейными отношениями.

Практические результаты применения ИНС для прогнозирования потребления электроэнергии [7] показали, что их можно использовать как для краткосрочного, так и для долгосрочного прогнозирования, минимизируя влияние человеческого фактора и недостоверности исходной информации.

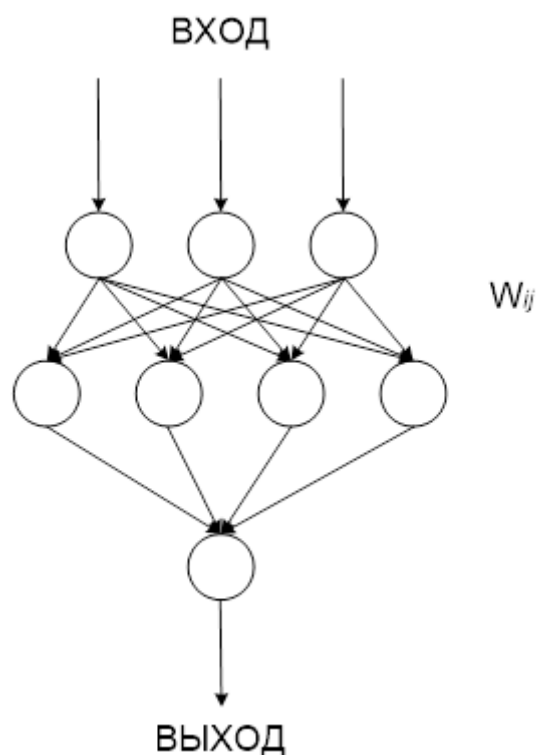


Рис. 1. Структура трехслойного персептрона.

В целом у применения ИНС для прогнозирования электропотребления можно выделить следующие преимущества: самообучаемость, способность устанавливать сложные нелинейные отношения между входными и выходными переменными и возможность дообучить сеть в случае поступления новой информации, что делает ИНС более адаптивной к изменению внешних условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манусов, В. З. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами / В. З. Манусов, Е. В. Бирюков // Известия Томского политехнического университета. - 2006. - № 6. – С. 153-157.
2. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. - Пер. с польского И. Д. Рудинского. – Москва : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
3. Крюков, А. В. Прогнозирование электропотребления с применением аппарата нейронных сетей / А. В. Крюков, Н. В. Раевский, Д. А. Яковлев // Proceedings of the International conference. – Irkutsk, 2004. – С. 235- 238.
4. Прогнозирование нагрузки ЭЭС на базе новых информационных технологий / Н. А. Манов [и др.] // Новые информационные технологии в

задачах оперативного управления электроэнергетическими системами. - Екатеринбург, 2002. - С. 127-156.

5. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – Москва : Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2001. – 224 с.

6. Short-term Electrical Load Forecasting for an Institutional/Industrial Power System Using an Artificial Neural Network [Электронный ресурс] // University of Tennessee, Knoxville Trace: Tennessee Research and Creative Exchange. – Режим доступа: https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2753&context=utk_gradtheses.

7. Курбатский, В. Г. Прогнозирование электрической нагрузки с использованием искусственных нейронных сетей / В. Г. Курбатский, Н. В. Томин // Электрика. - 2008. - № 7. – С. 33 – 40.

8. Методы прогнозирования электропотребления в распределительных сетях (обзор) [Электронный ресурс] / А. М. Абдурахманов [и др.] // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2016. - Т. 3, № 1. – Режим доступа: <http://electrical-engineering.ru/issues/2016/2016-1-1.pdf>.

УДК 621.31

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО МЕСТА ОБРЫВА ПРОВОДА И ОЗЗ ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ 6(10) КВ

Сидоров С. В., старший преподаватель кафедры электроэнергетики,
sidorovsv@tyuiu.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Актуальность повышения точности и скорости определения места обрыва линии электропередачи и однофазного замыкания на землю обусловлена необходимостью повышения эффективности организации и проведения ремонтно-восстановительных работ, с целью повышения бесперебойности системы электроснабжения. Разработана методика определения места повреждения воздушной линии электропередачи 6(10) кВ, приведены результаты моделирования обрывов проводов воздушных линий и однофазных замыканий на землю. Предложен метод на основе анализа величин напряжений обратной последовательности трансформаторных подстанций на низкой стороне, устанавливающий взаимосвязь с местом обрыва линейного провода.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, однофазное замыкание на землю, обрыв линии электропередачи, определение места повреждения, симметричные составляющие напряжения.

Широкое распространение автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) в распределительной электрической сети (РЭС) 6(10) кВ, появление специализированной элементной базы, например, DSP (Digital Signal Processor) для сенсоров контроля состояния воздушной линии электропередачи (ВЛ) в сочетании с доступностью передачи информации по беспроводным каналам связи PLC (Power Line Communication) позволяет существенно ускорить решение задачи определения места повреждения (ОМП). Данное обстоятельство служит предпосылкой того, что если на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций (ТП) 6(10)/0,4 РЭС удастся выделить маркеры, однозначно свидетельствующие о наличии аварии, и путем их сопоставления с данными по разным ТП ограничить место поиска ОЗЗ и обрывов линий электропередачи, то это способствует как существенному удешевлению аппаратной части устройств ОМП, так и сокращению времени поиска места повреждения. Перспективным является использование уже встроенных в электрические счетчики 0,4 кВ модулей контроля показателей качества электроэнергии, дополненных функциями выделения аварийных признаков в параметрах режима электропотребления [1, 2].

Известно, что результате возникновения обрыва линии электропередачи, на электрооборудовании системы электроснабжения возникают несимметричные напряжения, даже в условиях наличия симметричных источников питания и симметричных потребителей. Известен метод симметричных составляющих, позволяющий разложить несимметричную трехфазную систему напряжения на симметричные составляющие напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей. Напряжения обратной последовательности определяются индуктивностями на фазу линии, зависящими только от геометрических размеров петель короткого замыкания, что позволяет установить зависимость места возникновения обрыва от величины обратного напряжения.

Признак повышенного уровня напряжения обратной последовательности позволяет обеспечить необходимую чувствительность и селективность и путем его сопоставления на разных подстанциях выделить поврежденный участок [3]. При необходимости можно секционировать электрическую сеть путем установки выключателей нагрузки ВН 6(10) кВ, способные отключать часть сети, где произошло повреждение путем передачи управляющего сигнала из центра питания [4].

При обрывах проводов ВЛ в сетях с изолированной нейтралью сопоставление напряжений обратной последовательности на подстанциях 6(10)/0,4 кВ позволяет ограничить участки поиска места повреждения вблизи подстанции с наивысшим уровнем напряжения обратной последовательности.

Методика ОМП при ОЗЗ и обрывах линии электропередачи:

- снять осциллограммы фазных напряжений на низкой стороне каждой ТП 6(10)/0,4 кВ;
- по осциллограммам определить величины напряжений обратной последовательности фазных напряжений;
- установить соответствие между величинами напряжений обратной последовательности фазных напряжений на низкой стороне ТП и расстоянием до места возникновения повреждения.
- По результатам выполненных согласно методике экспериментов, установлены зависимости места возникновения обрыва линии электропередачи воздушной линии от комбинации на ТП:
- при обрывах основной воздушной линии 6(10) кВ – на всех трансформаторных подстанциях, подключенных до места обрыва напряжения обратной последовательности на стороне 0,4 кВ значительно ниже, чем на подстанциях за местом обрыва;
- при обрывах на отходящих воздушных линиях 6(10) кВ – наибольшее напряжение обратной последовательности соответствует подстанции подключенной к поврежденной воздушной линии.

При ОЗЗ воздушной линии согласно методике экспериментов, установлены следующие зависимости:

- при ОЗЗ на отходящих воздушных линиях 6(10) кВ – наибольшее напряжение обратной последовательности соответствует подстанции подключенной к поврежденной воздушной линии;
- при ОЗЗ на отходящих воздушных линиях 6(10) кВ – величина напряжения обратной последовательности прямо пропорциональна расстоянию от ТП до места возникновения ОЗЗ.

Практическое применение установленных зависимостей в микропроцессорных устройствах релейной защиты путём модификации программного обеспечения с учётом возможностей комплектного набора контрольно-измерительных средств позволит сократить время поиска места обрыва линии электропередачи и ОЗЗ, снизить экономические потери [5, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляков, Ю. С. Актуальные вопросы определения мест повреждения воздушных линий электропередачи / Ю. С. Беляков. – Москва : НТФ «Энергопрогресс», 2010. – 76 с.

2. Карамов, Д. Н. Математическое моделирование отказов элементов электрической сети (10 кВ) автономных энергетических систем с возобновляемой распределенной генерацией / Д. Н. Карамов, И. В. Наумов, С. М. Пержабинский // Известия Томского политехнического

университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 7. – С. 116–130.

3. Определение места обрыва линейных проводов воздушной линии по вторичному напряжению трансформаторных подстанций / В. В. Сушков [и др.] // Актуальные вопросы энергетики: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Омск : ОмГТУ, 2018. – С. 41-44.

4. Пат. 2655948 Российская Федерация, МПК G01R 31/00. Устройство регистрации, идентификации перенапряжений и оценки остаточного ресурса изоляции погружных электродвигателей / Сушков В. В., Сухачев И. С.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ). - № 2017109534; заявл. 21.03.2017; опубл. 30.05.2018, Бюл. № 16.

5. Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург : ПЭИПК, 2003. – 350 с.

6. Шнеерсон, Э. М. Цифровая релейная защита / Э. М. Шнеерсон. – Москва : Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

УДК 621.31

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ НЕФТЯНЫХ ПРОМЫСЛОВ

Сухачев И. С.¹, старший преподаватель кафедры электроэнергетики,
suhachevis@tyuiu.ru

Сушков В. В.², д-р техн. наук, профессор кафедры энергетики,
sushkovvv@gray-nv.ru

Сидоров С. В.¹, старший преподаватель кафедры электроэнергетики,
sidorovsv@tyuiu.ru

¹г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

²г. Нижневартовск, Нижневартовский государственный университет

Аннотация. Рассмотрены вопросы прогнозирования остаточного ресурса вакуумных выключателей напряжением 6-10 кВ нефтяных промыслов. Получены график изменения сработки ресурса вакуумного выключателя от числа срабатываний; график прогнозирования остаточного ресурса вакуумного выключателя.

Ключевые слова: нефтяной промысел, отказ выключателя, техническое обслуживание, остаточный ресурс, прогнозирование.

Согласно нормативным документам осмотра, техническое обслуживание (ТО) и ремонт вакуумных выключателей (ВВ) выполняются с заранее заданной периодичностью. Периодичность может определяться инструкцией завода-изготовителя и, как правило, корректируется исходя из опыта эксплуатации. С другой стороны, имея статистику отказов ВВ, периодичность ТО и диагностики определяется по величинам сработки ресурса вакуумного выключателя или расчетным путем на основе математических моделей надежности ВВ и его отдельных конструктивных элементов.

С целью продления времени безотказной работы ВВ и снижения затрат на эксплуатацию целесообразно дать оценку остаточного ресурса. Под остаточным ресурсом ВВ понимается суммарная наработка изделия от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

При наличии автономных регистраторов аварийных процессов [1], предназначенных для регистрации (фиксации) и хранения данных об аварийном событии, изменений параметров электромагнитных переходных и установившихся процессов в электрической сети или счетчиков числа коротких замыканий, оценка остаточного ресурса осуществляется по методике [2, 3], в которой не учитывается влияние числа и качества восстановительных ремонтов на оценку остаточного ресурса. Данное обстоятельство вносит существенную погрешность в определение остаточного ресурса [4] по величинам сработки ресурса вакуумного выключателя, как показано на рис. 1.

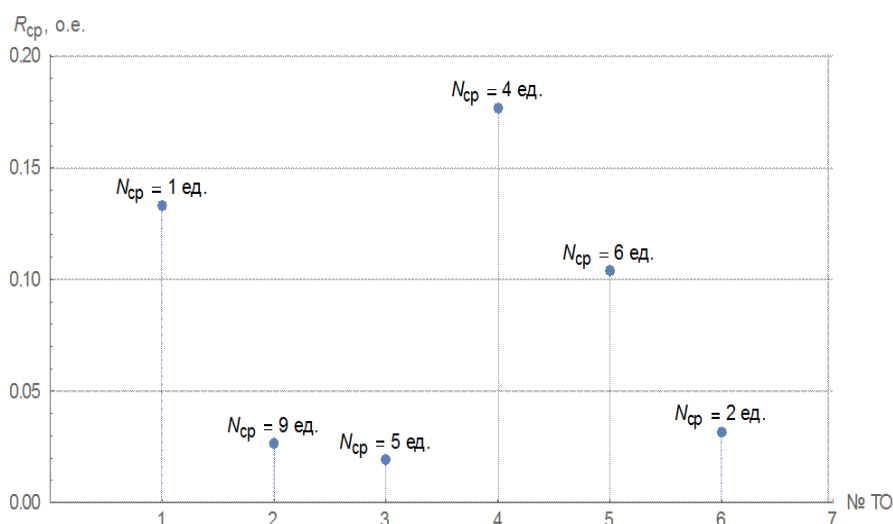


Рис. 1. График изменения сработки R_{cp} ресурса вакуумного выключателя от числа срабатываний N_{cp} определяемых при ТО

Согласно рис. 1 величина сработки ресурса ВВ в существенной степени определяется условиями коммутации – величиной коммутационного тока и временем гашения электрической дуги, а не

только их количеством коммутаций. Основной причиной сработки ресурса выключателя является эрозия контактов, величина которой зависит от величины коммутируемых токов, временем гашения электрической дуги и числом коммутаций [5]. Поэтому учет сработанного ресурса и определение остаточного ресурса высоковольтного выключателя должен базироваться на определении энергии, выделяемой в выключателе в момент коммутации. Выделяемая при коммутации энергия прямо пропорциональна квадрату коммутируемого тока, переходному сопротивлению, времени горения электрической дуги [6] согласно закона Джоуля-Ленца.

На рис. 2 показан график прогнозирования остаточного ресурса вакуумного выключателя и изменение величины остаточного ресурса в зависимости от числа срабатываний ВВ. Увеличение остаточного ресурса (точки 4 и 6) связано с проведением восстановительных работ.

Повышение точности прогнозирования достигается путем учета фактических эксплуатационных параметров (количество срабатываний, величины коммутируемых токов, времени горения дуги), передаваемые автономными регистраторами аварийных процессов [5].

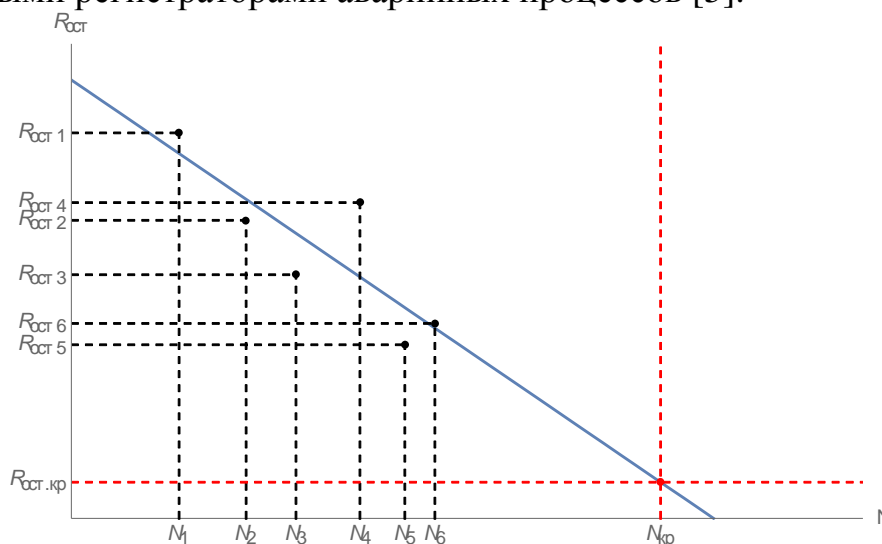


Рис. 2. График прогнозирования остаточного ресурса вакуумного выключателя

Срок службы T вакуумного выключателя в фактических условиях эксплуатации

$$T = \frac{N_{кр}}{w},$$

где $N_{кр}$ — количество числа срабатываний вакуумного выключателя при достижении минимально допустимой (предельной) $R_{ост.кр}$ величины остаточного ресурса (рис. 2); $w = \Delta N / \Delta t$ — число срабатываний ΔN вакуумного выключателя за время Δt (определяется при проведении ТО).

Таким образом, прогнозируемое время работы вакуумного выключателя определяется выражением:

$$t_{ост} = T - t = \frac{N_{кр}}{\Delta N} \Delta t - t$$

где t – время эксплуатации вакуумного выключателя.

Прогнозирование остаточного ресурса выключателей напряжением 6-10 кВ нефтяных промыслов на основе данных автономных регистраторов аварийных процессов позволит повысить отказоустойчивость системы электроснабжения нефтяных промыслов на 8-10 % и осуществить перевод вакуумных выключателей на систему технического обслуживания по техническому состоянию, как более экономичную по сравнению с системой планово-предупредительных ремонтов.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (СП-829.2018.1)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Регистраторы аварийных событий. Технические требования : СТО 34.01-4.1-002-2017. – Введ. 2017–08–15. – 27 с.
2. Неклепаев, Б. Н. Методика оценки остаточного ресурса выключателей при эксплуатации / Б. Н. Неклепаев, А. А. Востросаблин // Промышленная энергетика. - 1992, - № 10. - С. 31-32.
3. Неклепаев, Б. Н. Методика оценки коммутационного ресурса выключателей при эксплуатации / Б. Н. Неклепаев, А. А. Востросаблин // Промышленная энергетика. – 1995. - № 1. - С. 28-35.
4. Пат. 2655948 Российская Федерация, МПК G01R 31/00. Устройство регистрации, идентификации перенапряжений и оценки остаточного ресурса изоляции погружных электродвигателей / Сушков В. В., Сухачев И. С.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ). - № 2017109534; заявл. 21.03.2017; опубл. 30.05.2018, Бюл. № 16.
5. Оценка остаточного ресурса изоляции погружного электродвигателя установок электрических центробежных насосов добычи нефти при воздействиях импульсных перенапряжений / В.В. Сушков [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 10. – С. 74–80.
7. Сухачев, И. С. Методика оценки энергии, воздействующей на изоляцию электрооборудования нефтяной скважины при импульсных перенапряжениях / И. С. Сухачев, С. В. Сидоров, В. В. Сушков // Омский научный вестник. – 2017. – № 6 (156). – С. 87–91.

ОДНОФАЗНЫЕ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 КВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Ушаков И. С., магистрант, morigor94@gmail.com
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. Однофазные замыкания на землю в городских электрических сетях 10 кВ с изолированной нейтралью являются самыми частыми видами ненормальных режимов. В большинстве случаев защита построена только на сигнал и устранения ненормального режима выполняется вручную, отключая поврежденные участки сети. Цель исследования найти оптимальный вариант борьбы с последствиями однофазных замыканий на землю, путём исследования разных режимов нейтрали. Проблема по сей день остается актуальной для городских электрических сетей, так как однофазные замыкания на землю ведут к проблемам повреждения изоляции кабельных линий и электрооборудования.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, нейтраль, ёмкостной ток.

Нейтраль, которая к заземляющему устройству не присоединена или присоединена через трансформатор напряжения и индуктивное сопротивление, настроенное на емкость сети, называется изолированной нейтралью. Электрические сети, работающие в этом режиме, называются сетями с изолированной нейтралью, а при наличии компенсирующих устройств - сетями с компенсированной нейтралью. [1. ст. 300]

В сетях с изолированной нейтралью замыкание одной фазы на землю не повлечет короткого замыкания и отключения поврежденной фазы. Сеть будет продолжать работать в полнофазном режиме, но напряжение неповрежденных фаз относительно земли увеличится до линейного. Если корпус не соединен с заземленной нейтралью, то в случае замыкания фазы на корпус также не возникнет короткого замыкания, но изоляция оборудования будет находиться под повышенном (линейным) напряжением. [1. ст.301]

В сетях с изолированной нейтралью при частых замыканий одной фазы на землю не возникает необходимость в немедленном выключении поврежденного участка. Такая сеть может работать с заземленной фазой за несколько часов до выключения потребителя или перевода его на резервное питание. Поэтому в нашей стране все высоковольтные сети напряжением до 35 кВ включительно, как правило, работают с изолированной нейтралью. [1. ст. 302]

В случае неметаллического замыкания на землю в этих сетях в месте замыкания возникает перемежающаяся дуга, которая периодически гаснет

и загорается снова. Между емкостью и индуктивностью сети при этом возникают свободные электрические колебания высокой частоты, которые приводят к перенапряжению в сети. Исследования показали, что в сетях напряжением 6-35 кВ максимальные значения этих перенапряжений не превышают $2,2U_{\phi}$ на поврежденных и $3,2U_{\phi}$ на неповрежденных фазах. Эти дуговые перенапряжения в случае кратковременного действия не вредны, но при длительном воздействии могут привести к ионизации и теплового пробоя изоляции кабельных линий.

Устойчивое горение перемежающейся дуги возможно при условии, когда емкостный ток превышает в пределах 6 кВ - 30 А, 10 кВ - 20 А, 20 кВ - 15 А и 35 кВ - 10 А. В сетях напряжением 3-20 кВ на железобетонных и металлических опорах допускается емкостный ток не более 10 А. В основном емкостной ток распределительных сетей не превышает указанных значений. В очень разветвленных сетях, когда емкостный ток больше допустимого, его компенсируют с помощью дугогасящих катушек. [1. ст.302]

Таким образом, сети с изолированной и с резонансно заземленной нейтралью обеспечивают повышенную надежность электроснабжения потребителей без применения дополнительных средств автоматизации, локализуемых поврежденный участок, но их работа сопряжена и с определенными недостатками. Электрооборудование, применяемое в этих сетях должно иметь более высокую электрическую прочность изоляции, так как расчётный коэффициент несимметрии для них принимается равным 1,73. В этих сетях возможны более высокие кратности внутренних перенапряжений. ОПН и разрядники, разработанные для этих сетей в соответствии $h_{к.з} = 1,73$, имеют худшие защитные характеристики, чем в сетях с эффективно заземленной нейтралью. Кроме того, в сетях с резонансно заземленной нейтралью значительную трудность представляет выявление и селективное отключение участка с замыканием одной фазы на землю. [2. ст.6]

Заземляющая дуга малых емкостных токов однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью обычно не имеют высокой температуры и не создают большого тепловыделения, поэтому воздействие этих дуг на алюминиевые и медные токоведущие части, фарфоровую изоляцию, на трансформаторную сталь и сталь статоров электродвигателей не опасно. Однако, при значительных критических величинах емкостных токов, заземляющие дуги однофазных замыканий на землю становятся устойчивыми. При длительном прохождении дуг в месте повреждения выделяется значительная энергия, что ведет к разрушению фазной, витковой, и междуфазной изоляции, выжиганию стали магнитопроводов электрических машин и трансформаторов, расплавлению токоведущих частей. Открытые дуги могут растягиваться до нескольких метров,

ионизируя воздух вокруг себя, создавая благоприятные условия для возникновения междуфазных коротких замыканий.

Эффективным средством снижения величины тока однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью до значения, не превышающего указанных выше допустимых, является компенсация емкостной составляющей этого тока с помощью дугогасящего реактора, включенного в нейтраль сети. При благоприятных условиях такая компенсация фактически может оказаться бесконтактным средством гашения заземляющей дуги в месте повреждения. [2. ст.17]

Гашение дуги емкостного замыкания на землю, равного 77 A достигалось подключением дугогасящей катушки к нейтрали генератора, работающего на кабельную сеть 10 кВ . Этим способом сеть с изолированной нейтралью переводилась на компенсацию емкостного тока. Ток замыкания на землю уменьшался до $8,8 \text{ A}$ при недокомпенсации на $6,6\%$ и до 28 A при перекомпенсации на 32% . В первом случае дуга полностью гаснет одновременно с включением дугогасящей катушки; во втором случае дуга гаснет после нескольких повторных зажигания. [3. ст.66]

Обобщение результатов исследований интенсивности горения заземляющих дуг показывает, что для сетей 10 кВ с изолированной нейтралью предельные значения емкостных токов, при которых самопогасание дуги невозможно, примерно в $1,6$ раза меньше величин, принятых еще в 1930 г. , т. е. 20 и 15 A против 30 и 20 A . Поэтому в этих сетях компенсацию емкостных токов необходимо вводить в работу соответственно раньше, чем это принято. [3. ст. 71]

Очевидным и главным преимуществом полностью изолированной нейтрали сети является простота реализации такого режима, поскольку при этом отпадает необходимость в специальных устройствах для заземления нейтрали. Однако, как видно из изложенного выше, полностью изолированной нейтралью свойственны весьма серьезные недостатки, основным из которых является возможность возникновения в сети дуговых перемежающихся замыканий на землю, сопровождающихся значительными перенапряжениями на неповрежденных фазах, большой вероятностью развития однофазных замыканий в более тяжелые повреждения и т. д. [4. ст.27]

В некомпенсированных сетях с изолированной нейтралью существует также большая вероятность возникновения феррорезонансных процессов, сопровождающихся повреждением трансформаторов напряжения и другого оборудования. Предотвращение феррорезонансных процессов связано с определенными трудностями.

Несмотря на отмеченные серьезные недостатки, полностью изолированная нейтраль до настоящего времени широко применяется в сетях $6—35 \text{ кВ}$ при небольшом емкостном токе замыкания на землю (см.

предисловие), а также в сетях с напряжением до 1000 В при наличии в них электроустановок с повышенной опасностью обслуживания. В ряде случаев целесообразность применения полностью изолированной нейтрали следует считать необоснованной.

К недостаткам сети с изолированной нейтралью относится возможность возникновения в них больших свободных токов переходного режима и дуговых перемещающихся замыканий на землю. [4. ст.28]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козирський, В. В. Электроснабжение агропромышленного комплекса : учеб. пособие для вузов / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин. – Киев : Аграрное образование, 2011. – 448 с.

2. Васюра, Ю. Ф. Режимы работы сетей с изолированной нейтралью: Учебно-методическое пособие / Ю. Ф. Васюра. - Киров : ВГУ, 2002. - 152 с.

3. Лихачев, Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов / Ф. А. Лихачев. – Москва : Энергия, 1971. - 154 с.

4. Сирота, И. М. Режимы нейтрали электрических сетей : учеб. пособие для вузов / И. М. Сирота, С. Н. Кисленко, А. М. Михайлов. – Киев : Наукова думка, 1985. - 264 с.

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА

Чебрякова Ю. С., канд. техн. наук, доцент кафедры ЭтЭн,
ushebyakova@mail.ru

Аграфенин Е. А., магистрант, drag9696@mail.ru

г. Владимир, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

Аннотация. В электрических сетях напряжением до 1кВ отключения электроэнергии возникают довольно часто. Создание модуля бесперебойной работы потребителей позволит решить данную проблему. Первым этапом создания модуля является разработка схемы автоматического ввода резерва (АВР), который позволит модулю выполнять переключения, незаметно для потребителя и при этом будет отличаться от существующих аналогов. В данной статье приведены результаты разработки схемы с её элементами.

Ключевые слова: автоматический ввод резерва, надежность потребителей.

Современные электрические сети подвержены частым авариям, связанным с погодными условиями, плановыми отключениями электроэнергии, авариями на трансформаторных подстанциях и линиях электропередач. При этом в сетях напряжением 0,4 кВ потребители третьей категории надежности часто оказываются обесточены. Согласно правилам устройства электроустановок такое отключение может составлять не более одних суток. [1] Но и за это время может быть нанесен существенный вред потребителю (например существенное понижение температуры при отключении электрического котла). Рациональным решением этой проблемы является наличие резервного источника, способного поддерживать питание наиболее важного оборудования (системы отопления, вентиляции, освещения) на время производства ремонтных работ.

При этом рационально использовать альтернативные источники электрической энергии, которые позволят на время аварий обеспечить бесперебойную работу электроустановок и за счет использования современной автоматики сделать это незаметным для потребителя. Исследование планируется проводить в нескольких направлениях: выбор резервного источника питания, выбор схемы подключения потребителей и т.п. Но в первую очередь важно разработать именно оптимальную схему АВР, которое позволит с минимальными затратами обеспечить максимально эффективную работу модуля.

Целью работы является разработка оптимальной схемы автоматического ввода резерва (АВР), который войдет в состав модуля бесперебойной работы потребителей.

На первом этапе работы проведен анализ современных систем автоматического ввода резерва и разработаны рекомендации по формированию опытного образца устройства.

АВР должен удовлетворять нескольким обязательным требованиям. Срабатывание должно происходить всегда, в случае исчезновения напряжения на шинах вне зависимости от причины. Следует учитывать, что в случае работы схемы дуговой защиты АВР может быть заблокирован, для уменьшения повреждений от короткого замыкания. Кроме этого возникает необходимость в задержке переключения АВР, например при пуске мощных электродвигателей, АВР должен не реагировать на просадку напряжения. АВР должен срабатывать однократно.[2,3]

Разработанная схема АВР, представленная на рис. 1, состоит из отдельных элементов, без применения модульного оборудования. Преимущество данной схемы: простота, надежность, ремонтпригодность, низкая стоимость.

К шкафу, в котором расположен АВР подходит два независимых ввода. Ввод выполнен через автоматические выключатели ВА88-35 125А

фирмы IEK (QF3, QF4). Важнейшими элементами силовой цепи являются электромагнитные контакторы серии LC1D80004Q7 фирмы SchneiderElectric [4]. Управление контактором осуществляется с помощью сети управления, проходящей через контакты катушки контактора (KM1, KM2). Группы силовых контактов обозначаются как KM1.1 и KM1.2. Вспомогательные контакты (НО и НЗ), которые входят в данную конфигурацию, обозначаются как KM1.2, KM2.2 соответственно. После электромагнитных пускателей располагаются измерительные трансформаторы тока Т-0,66 5 ВА 0,5 125/5.

Цепь управления АВР запитана с помощью двух автоматических выключателей S203 С6 фирмы АВВ (QF5, QF6). Трёхполюсные автоматические выключатели с номинальным током 6 А и характеристикой электромагнитного расцепителя класса С обеспечивают надёжную защиту от перегрузки и КЗ цепи управления автоматического ввода резерва. Основным элементом цепи управления, отвечающим за переключение между вводами, является реле контроля фаз АВВ CM-PVE [5].

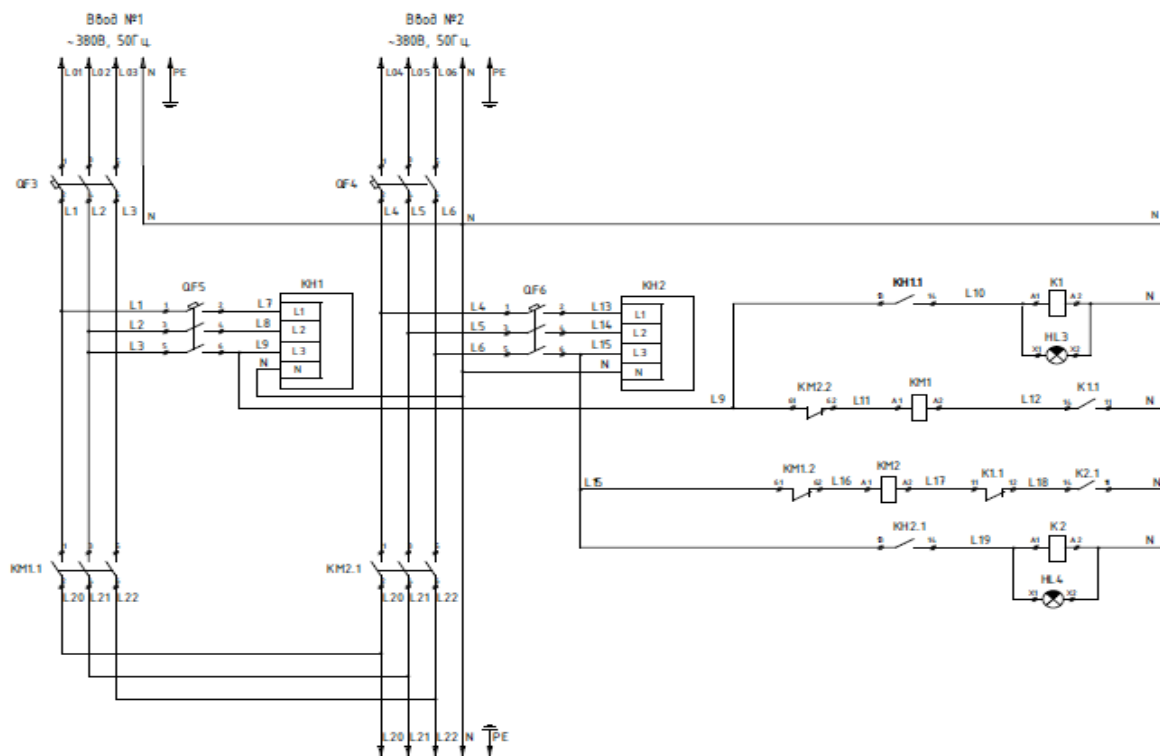


Рис. 1. Схема работы автоматического ввода резерва

Реле контроля фаз CM-PVE осуществляет контроль сети на понижение и повышение напряжения, а также обрыв фазы. [5] При условии наличия всех трёх фаз и напряжении номинального уровня замыкается выходной контакт (KH1.1, KH2.1), загорается встроенный

жёлтый светодиод. Выходное реле обесточивается и выключается после истечения установленного времени выдержки, в случае появления одной из трёх указанных выше неисправностей. Выходной контакт размыкается, светодиод гаснет. Получается, что если междуфазное напряжение, или напряжение между фазой и нулевым проводником становится выше максимального или ниже минимального, то выходное реле всегда обесточивается. Как только напряжение возвратится в нормативные пределы, реле автоматически включается, при этом существует фиксированный гистерезис 5%. Все условия для работы реле контроля фаз на первом вводе соблюдены, в таком случае контакт КН1.1 замыкается, запитывая катушку промежуточного реле (К1, К2).

В роли промежуточных реле выступают релейные модули фирмы WAGO марки 788-516. Электромеханические реле обеспечивают безопасную связь между электроникой и внешними датчиками управления устройствами. Реле обеспечивает гальваническую развязку между входными и выходными цепями, возможность сопряжения сигналов различных потенциалов, усиление сигналов (распределяет сигналы в цепях с различным потенциалом). Реле 788-516 очень надёжны и фактически всегда функционируют полное время, заявленное производителем, а иногда и превышают его. [6]

После того, как катушка К1 получила питание, контакт К1.1 замыкается, в результате чего загорается зелёный светодиод НЛЗ, назначение которого визуально обозначить работу первого ввода. Катушка магнитного пускателя КМ2 обесточена, в таком случае нормально замкнутый контакт КМ2.2 остаётся в исходном положении и катушка магнитного пускателя КМ1 получает питание, запуская втягивающий механизм. Ввод №1 находится в работе.

В случае, когда условия для запуска реле контроля фаз КН1 не выполняются, реле не активируется. Напряжение Ввода №2 удовлетворяет рабочим требованиям реле КН2, реле активизируется, происходит включение резервного ввода по аналогичной цепочке.

Ввод №2 является резервным. После восстановления нормального режима работы первого ввода возникает необходимость в переключении на него. Для этого в цепи включения резервного ввода присутствует нормально закрытый контакт промежуточного реле К1.2, который после восстановления питания катушки К1 разорвёт цепь питания катушки магнитного пускателя КМ2, тем самым вызвав автоматическое переключение между вводами.

Для экспериментальных исследований в прототипе данной схемы АВР резервный ввод создавался искусственно, ответвлением от основного ввода.

Разработанная схема удовлетворяет требованиям нормативных документов. Данную схему АВР можно использовать не только для модуля

бесперебойной работы потребителей электроэнергии, но и в качестве демонстрационного макета. Подобный макет позволит продемонстрировать способ обеспечения стабильной работы электропотребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройств электроустановок [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200030218>.
2. Киреева, Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) : справочное издание / Э. А. Киреева, С. Н. Шерстнев – Москва : КНО РУС, 2013.- 864 с.
3. Беляев, А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / А. В. Беляев. – Санкт-Петербург : ПЭИПК, 2008 – 230 с.
4. Моляров, П. А. Типовые схемы реализации АВР / П. А. Моляров // Главный энергетик. - 2011. - № 8. - С. 25-27.
5. Каталог продукции «АВВ» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.abb.com/ru>.
6. Каталог продукции «Радиус автоматика» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.rza.ru>.

УДК: 621.6-52

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТА НЕФТИ

Чертков А. Ю., бакалавр, achertkov97@bk.ru

Новоселова М.В., бакалавр, margarita.novoselova2017@yandex.ru

г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В данной статье рассмотрены существующие проблемы сниженной энергоэффективности в системе магистрального транспорта нефти. Проанализированы особенности применяемых способов выбора оптимального режима работы нефтепроводов. Выявлена и обоснована необходимость применения более гибкого и эффективного регулирования с помощью применения программно-аппаратного комплекса принятия технико-технологических решений. Главная особенность предложенной технологии – возможность учитывать динамичность транспортной системы и сделать процесс управления максимально автоматическим.

Ключевые слова: энергоэффективность, программно-аппаратный комплекс, магистральный нефтепровод.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) занимает особое место в экономике России, поэтому эффективное управление энергетическими ресурсами на сегодняшний день – приоритетное направление развития. Вопросы повышения технологической энергоэффективности транспорта углеводородов оказывают существенное влияние на достижение целей, сформулированных в Энергетической стратегии России на период до 2020 года. В условиях динамично развивающихся объемов перекачки задача обеспечения оптимизации энергопотребления становится все более актуальной.

Система транспорта нефти, если исходить из современных теорий управления — целенаправленный развивающийся комплекс взаимосвязанных технологических объектов, включающий в себя энергетические и информационные потоки [1].

Современная система нефтетранспорта характеризуется масштабностью, динамичностью, высоким уровнем централизации. Активно развивающаяся сложная система магистральных нефтепроводов обладает целостностью в технологическом смысле, что отражается и в организационно-управленческой сфере.

Обеспечение требуемых показателей повышения энергоэффективности может быть достигнуто и в ходе технологического процесса транспорта нефти путем выбора оптимального режима работы при оперативном управлении, а также при обнаружении повреждений и аварий и во время проведения ремонтных работ.

В основе выбора режимов работы систем магистральных нефтепроводов и способа их регулирования лежат планируемые объемы перекачки и нормы потребления электроэнергии. К основным факторам, влияющим на режимы работы системы «НПС – МН», относят переменную загрузку нефтепровода, изменение реологических параметров нефти, изменение параметров насосов, наличие запасов нефти или свободных емкостей, а также аварийные или ремонтные ситуации.

Исследование способов регулирования режимов работы системы «НПС – нефтепровод», способ их осуществления и анализ эффективности с экономической точки зрения приводится во многих работах [2, 3, 4], связанных с описанием систем трубопроводного транспорта. В ходе анализа сделан вывод, что каждый из способов регулирования имеет ряд достоинств и недостатков, однако в определенных условиях применение того или иного метода, или их комбинации, может оказаться целесообразным.

Действие одних из этих факторов является систематическим, других – периодическим. Это создает условия, при которых режим работы магистральных нефтепроводов непрерывно изменяется во времени.

Необходимую производительность системы можно обеспечить различными способами, изменяя те или иные параметры. Для НПС известны номинальные параметры установленных насосных агрегатов и их количество, местоположение и систем автоматического регулирования давления, значения их уставок. Для трубопровода – общая протяженность, внутренний диаметр, расположение дросселирующих органов, систем перепуска. Заданы плотность, вязкость и температура перекачиваемой жидкости, а также внешние различные внешние факторы.

Учитывая количество переменных, которые необходимо учесть, ручной перебор и расчет представляет собой сложную задачу, результат которой чаще всего оказывается недостаточно эффективным. На практике в организациях трубопроводного транспорта нефти выбор режима эксплуатации нефтепроводов основывается на имеющихся машинных расчетах и опыте.

Главный недостаток данного подхода заключается в том, что оптимальный режим рассчитывается при неизменных значениях датчиков, установленных в системе. Таким образом, есть большая вероятность того, что наиболее эффективный режим может быть упущен. Чтобы этого не допустить уставки датчиков необходимо определять в процессе расчета режима.

Управление магистральным нефтепроводом при возникновении нештатных ситуаций осуществляется диспетчером, после согласования с диспетчерами смежных диспетчерских пунктов и оператором магистрального диспетчерского пункта, для выяснения причины возникновения аварийного режима. Главный инженер принимает решение об остановке перекачки на данном участке МН. После чего диспетчер принимает меры для немедленной остановки работы или поиска альтернативного режима перекачки. Такая организация управления требует значительных затрат времени. Следует учесть возможность проявления человеческого фактора, вследствие стресса и волнения, на всех этапах принятия решения. Ошибки могут повлечь за собой большой экономический ущерб.

С учетом всего вышесказанного, существует необходимость в более гибком и точном регулировании и определении оптимального режима работы магистральных нефтепроводов, основанном на динамической модели системы, которое может осуществляться посредством программно-аппаратного комплекса принятия технико-технологических решений.

В общем смысле, под программно-аппаратным комплексом (ПАК) понимают набор технических и программных средств, работающих совместно для выполнения одной или нескольких сходных задач.

В рассматриваемом программно-аппаратном комплексе для автоматической оптимизации процесса транспорта нефти необходимо:

- во-первых, определить целевую функцию процесса, направленную на минимизацию или максимизацию выбранного параметра;
- во-вторых, составить математическую модель процесса, опираясь на его физическое описание;
- в-третьих, оценить текущее состояние системы и максимально точно задать ее параметры в математической модели.

Когда известны параметры и состояние системы задача поиска эффективного управления сводится к определению оптимума целевой функции.

Существуют различные виды целевых функции, определяющие оптимальный режим работы системы «НПС – МН»: объем электроэнергии, удельное энергопотребление на единицу перекачиваемой продукции, общие затраты на перекачку, КПД насосных агрегатов, минимальное количество переключений между режимами, другие энергетические критерии.

Технологический участок магистрального нефтепровода содержит пять-шесть нефтеперекачивающих станций, связанных между собой нефтепроводами. При системе перекачки «из насоса в насос» режимы работы насосов всех НПС оказываются связанными между собой. При этом одной из проблем, которую необходимо решить при определении режимов работы, является разработка алгоритма, который будет учитывать режим работы всех насосов технологического участка [5].

Наличие программно-аппаратного комплекса позволит оперативно принимать технико-технологические решения на всех уровнях управления, сократить период согласования. Такая автоматизация производства снизит вероятность принятия нерациональных и ошибочных решений в процессе эксплуатации. Снижение доли влияния человеческого фактора позволит повысить надежность и эффективность производственных процессов в целом.

Эксплуатация оборудования магистрального транспорта нефти в оптимальных режимах работы является актуальным вопросом. Необходима разработка обобщенных алгоритмов, которые будут сочетать в себе как энергетические критерии, так и критерии, учитывающие влияние различных способов регулирования на эксплуатационные расходы и надежность силового оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, В. В. Управление магистральными трубопроводами / В. В. Борисов. - Москва: Недра, 1979. – 215 с.
2. Туманский, А. П. Оптимизация режимов перекачки по магистральным трубопроводам с перекачивающими станциями,

оборудованными частотно-регулируемым приводом / А. П. Туманский // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 2005. - № 8. - С. 11 - 14.

3. Самоленков, С. В. Обоснование энергосберегающих режимов работы нефтеперекачивающих центробежных насосов с регулируемым приводом [Рукопись] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / С. В. Самоленко; СПбГУ. - Санкт-Петербург, 2014. - 123 с.

4. Гумеров, А. Г. Внедрение энергосберегающих технологий в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов / А. Г. Гумеров, К. А. Борисов, А. Ю. Козловский // Нефтяное хозяйство. - 2007. - № 3. - С. 85 – 88.

5. Коршак, А. А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учебник для вузов / А. А. Коршак, А. М. Нечваль. – Санкт-Петербург : Недра, 2008. – 488 с.

УДК 621.316

ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Яковлев В. В., магистрант, 19yakovlevvlas96@mail.ru.
г. Тюмень, Тюменский индустриальный университет

Аннотация. В последнее время в сфере сбора, обработки и хранения информации, а также автоматизации процессов сформировалась тенденция перехода на цифровые технологии. В настоящее время практически все ведущие организации энергетической отрасли производят исследования в данном направлении с целью выхода на новый уровень. Создается совершенно новое электроэнергетическое оборудование, проектируются подстанции нового образца, разрабатываются новые стандарты. Следовательно, переход на цифровые подстанции – одна из самых важных задач для Российской электроэнергетики. Целью данного исследования является оценка возможности реализации проекта по внедрению цифровых подстанции в нефтегазодобывающую отрасль.

Ключевые слова: цифровая подстанция, нефтегазовая отрасль.

Цифровая подстанция (ЦПС) – подстанция, оснащенная комплексом цифровых устройств для обеспечения информационного обмена данными между элементами ПС, функционирования всех ее систем, включая релейную защиту и автоматику, автоматизированную систему управления и систему регистрации аварийных событий по протоколу МЭК 61850.

Согласно [1], главными задачами при реализации проекта «цифровая подстанция» являются:

1. Повышение надёжности электроснабжения потребителей.

2. Снижение материальных затрат на обслуживание электрооборудования ПС.

Так как подстанции, питающие объекты нефтегазодобычи, чаще всего находятся в отдаленных, труднодоступных районах, то одним из самых важных пунктов снижения материальных затрат является переход к так называемой «необслуживаемой» подстанции, т.е. без постоянного оперативного персонала. Управление таких ПС чаще всего происходит дистанционно из удаленных центров управления.

С этой целью необходимо произвести глобальные изменения, включающие в себя упрощение и приведение к единообразию всех вторичных цепей действующих или проектируемых подстанций. Данное решение, во-первых, позволит снизить временные затраты на ввод в эксплуатацию технологических объектов, а во-вторых, снизит в будущем затраты на обслуживание электрооборудования. Однако, упрощения вторичных цепей недостаточно. Также необходимо на возводимых объектах внедрить современное, более совершенное электротехническое оборудование, которое снизит вероятность возникновения отказов в системе.

В связи с тем, что основные объемы залежей нефти и газа России расположены в районах Крайнего Севера, Ханты-Мансийском (43%) и Ямало-Ненецком (9%) автономных округах, то при технико-экономической оценке эффективности применения цифровых подстанций (ЦПС) основной упор будем делать именно на эти регионы.

При реализации проекта «цифровая подстанция» в нефтегазовой отрасли, необходимо решить ряд поставленных задач.

На первом этапе необходимо разработать методологию применения положений стандарта МЭК 61850 для цифровой подстанции. Для этого требуется создать прототип, с помощью которого на опытных образцах будут проверены технические решения.

Второй этап подразумевает произвести оценку возможности реализации проекта в условиях Крайнего Севера. С этой целью необходимо создать опытную модель и проверить ее работоспособность в заданных условиях, ориентированных на арктический климат региона.

Для этого предлагается на базе научно-исследовательского центра создать установку, имитирующую требуемые климатические условия.

На третьем этапе необходимо позаботиться об информационной безопасности системы. Так как цифровая подстанция подразумевает переход к цифровым сигналам, то возможны частые хакерские «атаки» с целью взлома системы. Чтобы не допустить этого, разумнее всего отказаться от массово распространенных платформ и операционных систем. Предлагается внедрить специальные цифровые вычислительные машины, разработанные для электрических станций и подстанций. Данное решение позволит в разы сократить количество успешных «атак» и

заражений «вирусами», а, следовательно, защитит конфиденциальную информацию от попадания третьим лицам.

На четвертом этапе необходимо произвести интеграцию новой технологии на действующую подстанцию с целью обучение системы способам решения поставленных задач, включающих ликвидацию аварийных ситуаций и неисправностей.

Для этого предлагается на базе действующей экспериментальной ПС создать полигон для испытания всех систем и подсистем цифровой подстанции, а также отработки всех возможных ситуаций, возникающих в электроэнергетической системе (ЭЭС).

В виду того, что в реальных условиях возмущения в системе происходят не так часто, то за короткий срок невозможно наработать эксплуатационный опыт и обучить систему.

Предлагается ввести на подстанции моделирующий комплекс, который имитировал бы возмущения в сети. Тем самым можно в достаточно короткие сроки протестировать функциональные характеристики электрооборудования, а также определить степень его реакции на различного рода возмущения в системе.

Так же не стоит забывать, что кроме проблем, свойственных только цифровой подстанции, при проектировании объекта можно столкнуться со сложностями, свойственными любой ПС.

Первая проблема, требующая комплексного подхода – осложнение обслуживания кабельных сетей (как силовых, так и кабелей систем АСУ ТП и связи) в условиях Крайнего Севера.

Для решения данной проблемы необходима прокладка кабельных сетей по специальным кабельным и технологическим эстакадам.

Вторая важная проблема – проектирование системы заземления в условиях многолетней мерзлоты. На рис.1 представлена зависимость удельного сопротивления грунта от его температуры.

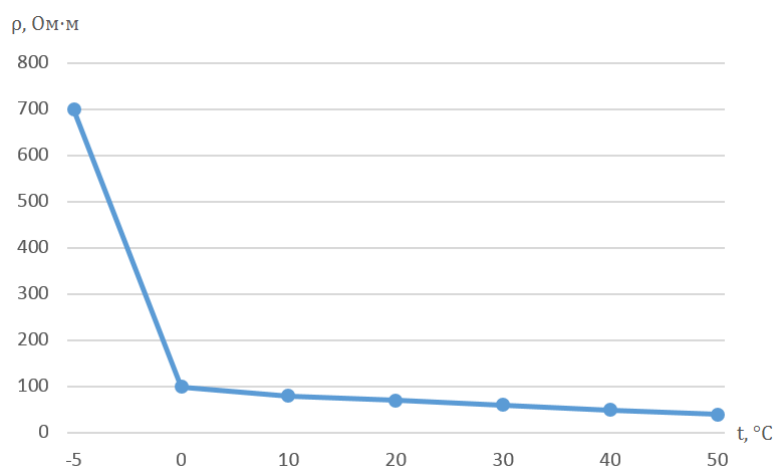


Рис.1. Зависимость удельного сопротивления грунта от температуры

На этом графике хорошо видно, что при температуре ниже нуля грунт резко повышает свое удельное сопротивление, что связано с переходом воды в другое агрегатное состояние (из жидкого в твердое) – почти прекращаются процессы переноса заряда ионами солей и кислотными либо щелочными остатками. По этой причине установка электродов заземляющего контура в грунт в таких условиях недопустима.

Согласно [2], чтобы достигнуть необходимого сопротивления заземления в таких условиях, необходимо смонтировать количество заземляющих электродов в десятки раз превышающее количество электродов, необходимое в обычном грунте. Таким образом количество электродов будет не 10-15, а 100-150, что зачастую просто невыполнимо.

В связи с этим, для надежного и качественного заземления в вечномерзлых грунтах предлагается использовать готовый комплект электролитического заземления, который представляет собой полую трубку, заполненную специальными сертифицированными минеральными солями, которые впитывают в себя воду, превращаясь в электролит, проникают в грунт и повышают его электропроводность, тем самым уменьшая удельное сопротивление до требуемых пределов.

Таким образом, на основе проведенного исследования, был выявлен ряд проблем, с которыми может столкнуться проектная группа. Было определено, что внедрение цифровой подстанции в нефтегазовую отрасль – процесс довольно долгий и трудоемкий. Для реализации проекта потребуется учесть ряд особенностей, включая климатические условия и удаленность местности. Также придется решить вопрос по методологии применения положений стандарта МЭК 61850 на подстанции, включая шифрование передаваемых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция цифровой подстанции [Электронный ресурс] // Инновации и развитие. – Режим доступа: https://www.rosseti.ru/investment/KNIGA_ROSSETI.pdf

2. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд., перераб. и доп. – Москва : Главгосэнергонадзор России, 2013. – 606 с.

Научное издание

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

В авторской редакции

Подписано в печать 14.12.2018. Формат 60×90 1/16.
Печ. л. 22,87. Тираж 100 экз. Заказ № 1436.

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.