

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

НЕФТЕГАЗОВЫЙ ТЕРМИНАЛ
Выпуск 17

Материалы
Международной научно-технической конференции
«Транспорт и хранение углеводородного сырья»
(25-26 апреля 2019 года)

Том 2

Тюмень
ТИУ
2019

УДК 622.691 + 622.692
ББК 33.16
Н58

Н58 Нефтегазовый терминал. Выпуск 17: материалы международной научно-технической конференции «Транспорт и хранение углеводородного сырья» (25-26 апреля 2019 года) / под. общ. ред. С. Ю. Подорожникова. – Тюмень: ТИУ, 2019. – Текст: непосредственный.

Т. 2 – 174 с.

ISBN 978-5-9961-2077-2 (*общ.*)

ISBN 978-5-9961-2079-6 (*том 2*)

В сборнике представлены статьи и доклады, выполненные на Международной научно-технической конференции «Транспорт и хранение углеводородного сырья», состоявшейся в Тюменском индустриальном университете 25-26.04.2019 года. В материалах изложены результаты исследовательских и опытно-конструкторских работ по широкому кругу вопросов.

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

УДК 622.691+ 622.692
ББК 33.16

ISBN 978-5-9961-2077-2 (*общ.*)
ISBN 978-5-9961-2079-6 (*том 2*)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 3. ДИАГНОСТИКА ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА	6
Горяинова А.В. Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов ...	6
Игнатик А.А., Сальников А.В. Апробация методики расчёта комбинированных дефектов по данным результатов внутритрубной диагностики магистрального нефтепровода	9
Ли Синь, Тао Ин, Якубовская С.В., Маркова Л.М. Стратегическая концепция по ранней диагностике и противокоррозионная защита магистральных нефтепроводов	16
Пучук П.Е. Анализ методов контроля влагосодержания природного газа в промышленных условиях	19
Хайруллина Л.Б., Пермяков В.Н. Диагностика трубопроводных систем хрупкими тензочувствительными покрытиями	30
Шабаров А.Б., Примаков С.С., Забора И.В. Диагностика температурных полей вблизи различных сооружений на многолетнемёрзлых грунтах	32
Яковлев С.А., Земенкова М.Ю., Голик В.В. Искусственные нейронные сети для решения задач технического обслуживания в нефтегазовой отрасли	35
СЕКЦИЯ 4. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ	41
Василега Д.С., Доманина Е.А., Василега Н.А., Зырянова В.А. Стандартизация как основной фактор интенсификации освоения Арктики	41
Васильев Д.А., Закирзаков Г.Г., Мезенцева Е.А. Повышение эффективности работы дизельного двигателя в арктических зонах РФ	44
Голик В.В., Бельский С.Г. Моделирование температурных режимов подземных трубопроводов в условиях многолетней мерзлоты	47
Калимуллина Д.С., Артёмов А.Ю., Сыч К.М., Парфёнов А.А. Различные факторы риска и их последствия во время морских операций..	52
Лисовская И.В. Повышение эффективности освоения Арктической зоны РФ	55
СЕКЦИЯ 5. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ	62
Артамонов Е.В., Помигалова Т.Е., Шкуркин Д.А. Управление напряженно-деформированным состоянием и прочностью сменных многогранных пластин сборных инструментов при проектировании и эксплуатации	62

Артамонов Е.В., Васильев Д. В., Чернышов М.О., Киреев В.В. Определение условий максимальной обрабатываемости деталей погружных центробежных насосов из сплава 05Х16М4Д2Б	70
Артамонов Е.В., Киреев В.В., Васильев Д.В., Чернышов М.О., Зырянов В.А. Проектирование сборных червячных фрез для обработки зубчатых колес кпп подъемника для ремонта скважин	75
Артамонов Е.В., Тверяков А.М., Штин А.С., Малышев А.В. Мониторинг функциональной надежности инструмента.....	82
Васильев Д.В., Данилов В.Д., Зырянов В.А., Штин А.С. Проектирование режущего элемента установки вихревого течения при изготовлении роторов винтовых забойных двигателей	87
Волгин И.А., Кучер Е.С., Торопов С.Ю. Дефектоскопия как фактор повышения эксплуатационной надёжности трубопроводов	90
Горшков А.О., Дибиров З.К., Торопов Е.С. Подводная сварка нефтепровода	95
Губенко А.С., Рамазанов Д.Ф. Разработка самоходного шламоуборочного комбайна на производственной базе РФ.....	100
Губенко А.С., Джинджолава Д.Г. Разработка гибридной силовой установки автомобиля с помощью мотор-колеса	103
Гуляева А.С. Реинжиниринг бизнес-процессов машиностроительных предприятий.....	106
Ефимова К.О. Повышение прочности резьбового соединения в результате использования поверхностно-модифицированного слоя из никелида титана.....	108
Зыкин П.В. Математическая модель многоострийного катода	111
Кинцель П.А., Огудова Е.В. Сварка металлического трубопровода с трубами ПНД	115
Кузнецов К.Д., Ужегов В.А., Васильев Д.В. Влияние теплообмена на контактную поверхность инструмента и на стружкодробление	118
Кузьмин М.С. Порождающее проектирование и топологическая оптимизация в сфере транспортировки углеводородных ресурсов.....	122
Леликов А.Л., Бурмистров Д.И., Мамадалиев Р.А. Оборудование для сварочных работ при монтаже резервуаров	127
Миллер Л.Ю., Собчук А.В., Торопов В.С. Сварка трубопроводов в условиях крайнего севера	130
Некрасов Н.А., Марганов Р.Р., Дорофеев С.М., Попова А.А. Ремонт вертикальных стальных резервуаров.....	135
Никитенко Я.Ф. Повышение эффективности и результативности производства детали нефтепромыслового оборудования за счет уменьшения вспомогательного времени	139
Остапенко М.С., Романова А.А. Система «5s» для производственных предприятий	143

Саляхов Д.И., Шаповалова Е.А. Способ сварки труб с улучшением эксплуатационных характеристик и повышением производительности сварки	146
Чернышов М.О., Васильев Д.В., Киреев В.В. Повышение прочности сменных режущих пластин и работоспособности сборных инструментов	154
Сауков Н.А. Разработка, моделирование и расчет установки сухой резки жидким азотом	149
Чернышов М.О., Васильев Д.В., Киреев В.В. Повышение прочности сменных режущих пластин и работоспособности сборных инструментов	161
Юлдошев Д., Коркин Т.А., Ишкина Е.Г. Стресс коррозия магистральных газопроводов	166

Секция 3. Диагностика оборудования нефтегазового комплекса

УДК 621.6

Горяинова А.В.

Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: в статье проводится исследование инфразвуковой системы мониторинга трубопроводов (ИСМТ), основанной на применении метода регистрации инфразвуковых колебаний. Данная система применяется для обнаружения утечек, а также для дистанционного контроля технического состояния трубопроводов, газопроводов и нефтепроводов.

Abstract: the article conducts a study of the pipeline monitoring system infrasound (IPMS), which is based on the application of the ultrasonic fluctuations method. This system is used to detect leaks and also for remote control of the technical condition of pipelines and also for remote control of the technical condition of pipelines, gas pipelines and oil pipelines, gas pipelines and oil pipelines.

Ключевые слова: инфразвуковая система мониторинга трубопроводов, ИСМТ, инфразвуковые колебания, контроль технического состояния, обнаружение утечек.

Keywords: infrasound pipeline monitoring system, IPMS, infrasonic fluctuations, technical condition control, leaks detection.

Для осуществления безопасности при эксплуатации трубопроводного транспорта необходимо обеспечение технического состояния трубопроводов надежной системой контроля с функциями мониторинга и обнаружения утечек.

В качестве объекта исследования предлагается инфразвуковая система мониторинга трубопроводов (ИСМТ).

Данная система применяется для непрерывного дистанционного контроля технического состояния трубопроводов, газопроводов и нефтепроводов в режиме реального времени и вместе с тем является одной из разновидностей диагностики объектов нефтегазового комплекса.

Принцип работы ИСМТ основан на применении метода регистрации инфразвуковых колебаний, которые распространяются внутри трубопровода на расстояние нескольких сотен километров [1].

Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов состоит из модулей регистрации – инфразвуковых датчиков, которые устанавливаются на трубопровод и в дальнейшем регистрируют инфразвуковые колебания, также модулей обработки – многофункциональных высокопроизводительных контроллеров, канала технологической связи, сервера и программного обеспечения (рис.1).

Принцип функционирования ИСТМ заключается в следующем: после регистрации датчиками инфразвуковых колебаний, результаты обра-

ботки данных, полученных в контроллере, по каналу технологической связи передаются на сервер, откуда уже непосредственно поступают диспетчеру для отслеживания состояния системы трубопровода и выявления неполадок [2].

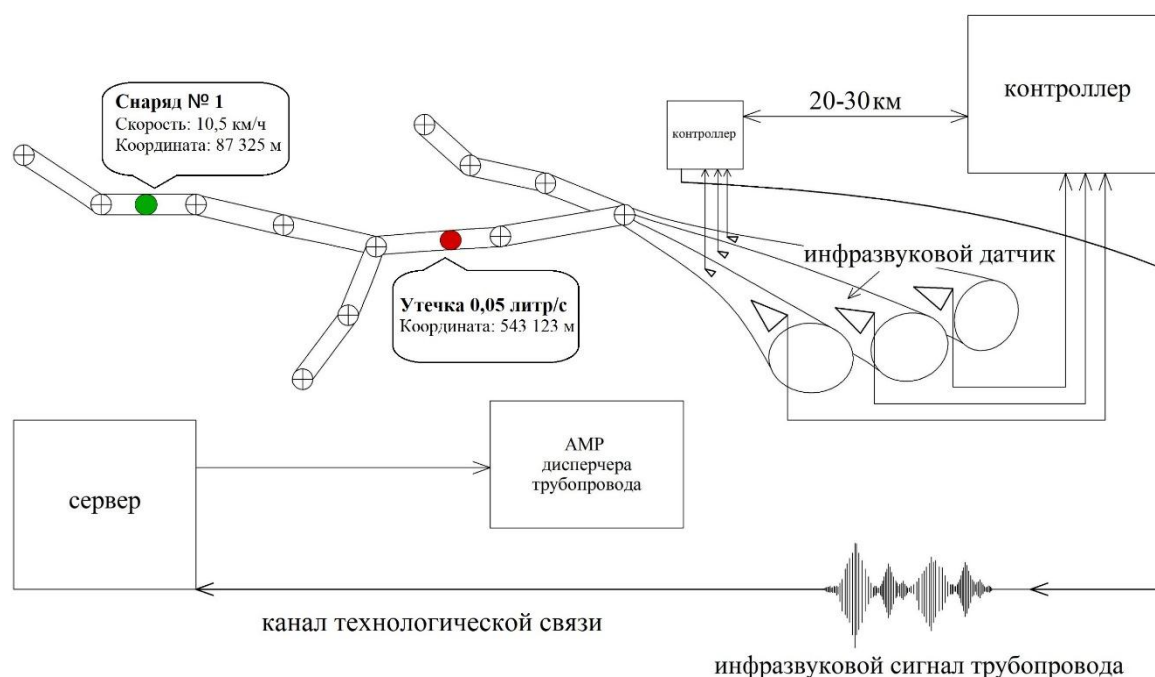


Рис. 1. Структурная схема инфразвуковой системы мониторинга трубопроводов

При обнаружении утечки на технологической и географической картах трубопровода определяются: географическая координата, линейная координата и её погрешность, время обнаружения утечки, а также интенсивность утечки [3].

Функции инфразвуковой системы мониторинга трубопроводов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Функции инфразвуковой системы мониторинга трубопроводов

Основные функции ИСМТ	Дополнительные функции ИСМТ	Вспомогательные функции ИСМТ
<ul style="list-style-type: none"> • Обнаружение утечек; • Локация внутритрубных устройств; • Охрана и самодиагностика; 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнаружение механических воздействий; • Измерение расхода; • Инфразвуковая дефектоскопия; • Видеонаблюдение; • Измерение давления; • Управление задвижками; 	<ul style="list-style-type: none"> • Обнаружение отводов; • Наблюдение с дронов; • Контроль водяных и газовых пробок;

Показатели и технические характеристики ИСМТ сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Показатели и технические характеристики инфразвуковой системы мониторинга трубопроводов

№	Показатели и технические характеристики	Значение	
1	Точность определения координат	± 20 м	
2	Интенсивность регистрируемых утечек	Жидкость	0,2 м ³ /ч
		Газ	9,0 м ³ /ч
3	Время обнаружения утечек со средней интенсивностью	30 сек.	
4	Время обнаружения механического воздействия	6 мин.	
5	Относительная погрешность контроля расхода	0,1%	
6	Скорость передачи кадров видеосъемки окрестностей КП с установленным оборудованием ИСМТ	1 кадр/2 мин.	
7	Минимальный масштаб карт при детализации	1 м /1 см	

Как показывает практика внедрения ИСМТ, требования к обеспечению надежности оборудования, которое установлено на трубопроводах, достаточно высоки, так как оборудование располагается и функционирует на значительном расстоянии от средств технической поддержки и непосредственно самого оператора [4].

Но высоким преимуществом инфразвуковой системы мониторинга трубопроводов являются программные и аппаратные решения, которые осуществляют стабильную автономную работу системы, позволяют дистанционно отслеживать состояния системы трубопровода и способствуют выявлению неполадок [5].

Список литературы

1. Инфразвуковая Система Мониторинга Трубопроводов [Электронный ресурс] // Научно-производственная фирма «Тори». - Режим доступа: <http://www.torinsk.ru/main>.
2. Анализ систем обнаружения утечек на магистральных нефтепродуктопроводах / Н. Х. Абдрахманов [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017. – № 3 – С. 154-164.
3. Инфразвуковая система мониторинга трубопроводов [Электронный ресурс] // Научно-производственная фирма «Тори». - Режим доступа: <http://www.torinsk.ru/InfrasonicSystemNewCapabilities2018Rus.pdf>.
4. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов [Электронный ресурс] // Научно-производственная фирма «Тори». - Режим доступа: <http://www.torinsk.ru/publication/25-mpp2007.html>.
5. Кодзаев, М. Ю. Повышение экологической безопасности при эксплуатации магистральных нефтегазопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / М. Ю. Кодзаев. – Владикавказ, 2006. – 178 с.

Апробация методики расчёта комбинированных дефектов по данным результатов внутритрубной диагностики магистрального нефтепровода

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

Аннотация: Выполнена апробация методики расчета комбинированных дефектов по данным результатов внутритрубной диагностики магистрального нефтепровода. Рассмотрены опасные дефекты, требующие снижения давления и ремонт в ближайшие шесть лет. Определено количество комбинированных дефектов и их доля среди всех опасных дефектов. Проведено сравнение значений предельного давления секции магистрального трубопровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с потерей металла» из отчетов по внутритрубной диагностике и значений, полученных при использовании разработанной авторами методики.

Abstract: The analysis of reports on in-line inspection of the oil main pipeline was performed. Dangerous defects requiring pressure reduction and repair in the next six years are considered. The number of combined defects and their percentage among all dangerous defects were determined. The values of the allowable pressure of the main pipeline section with a combined defect «geometry defect with metal loss» from the reports on in-line diagnostics and the values obtained using the method developed by the authors are compared.

Ключевые слова: внутритрубная диагностика, дефект, комбинированный дефект, предельное давление, прочность.

Keywords: in-line inspection, defect, combined defect, allowable pressure, strength.

В результате анализа данных ВТД (внутритрубной диагностики) участка магистрального нефтепровода «Ухта–Ярославль» за 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2016, 2017 гг., входе которого были рассмотрены только опасные дефекты, требующие уменьшения давления в нефтепроводе и требующие ремонт в ближайшие шесть лет, проведено разделение дефектов на такие категории: дефекты ПОР (дефекты первоочередного ремонта по старой классификации дефектов нефтепровода [4]), одиночные и комбинированные (по другой терминологии, взаимодействующие) дефекты. Результатами анализа применительно к опасным дефектам являются: общее число дефектов, число комбинированных дефектов, доля комбинированных дефектов среди общего числа дефектов. На рис. 1 представлено распределение количества комбинированных дефектов по годам проведения диагностики, а на рис. 2 – распределение доли комбинированных дефектов среди всех дефектов по годам проведения диагностики.

График на рис. 1 показывает рост числа выявленных комбинированных дефектов с течением времени эксплуатации магистрального нефтепровода. График на рис. 2 демонстрирует рост доли комбинированных дефектов с течением времени эксплуатации магистрального нефтепровода.

Более 95 % дефектов (по данным 2016 г. и 2017 г.), которые требуют уменьшения давления и ремонт в ближайшие шесть лет, являются комбинированными, что говорит о целесообразности исследования прочности и долговечности магистральных трубопроводов с комбинированными дефектами разного типа.

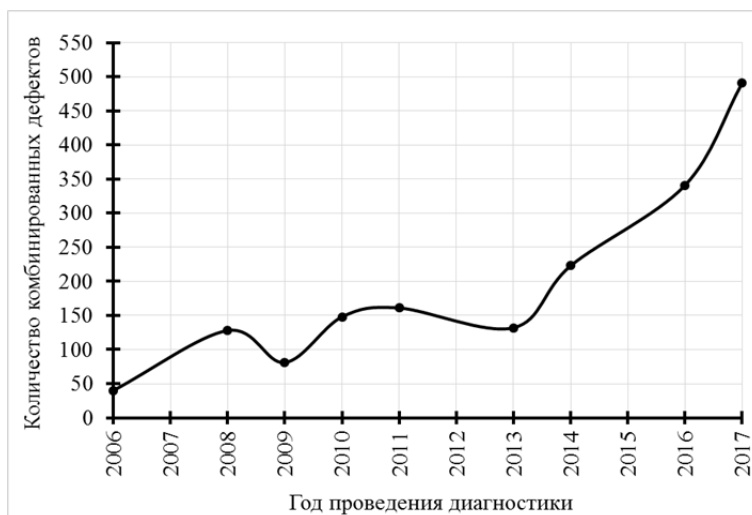


Рис. 1. Количество комбинированных дефектов на участке магистрального нефтепровода «Ухта–Ярославль» в разные годы проведения внутритрубной диагностики среди дефектов, требующих уменьшение давления и ремонт в ближайшие шесть лет

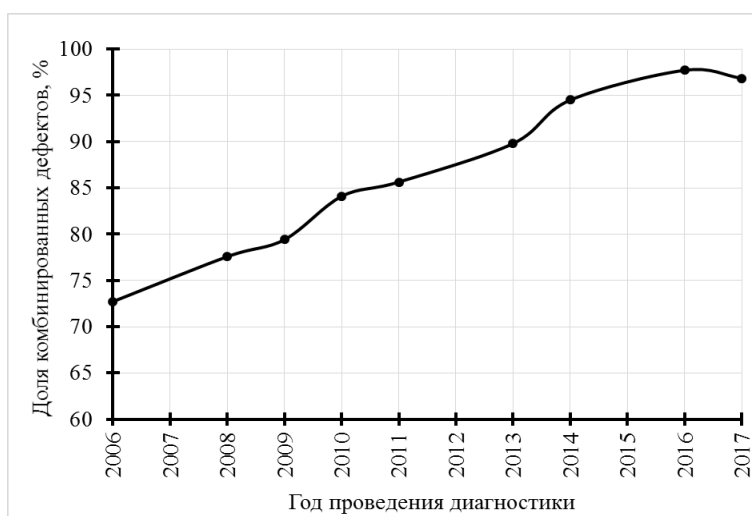


Рис. 2. Доля комбинированных дефектов среди общего числа дефектов, требующих уменьшение давления и ремонт в ближайшие шесть лет, на участке магистрального нефтепровода «Ухта–Ярославль» в разные годы проведения внутритрубной диагностики

В процессе анализа было выделено 16 типов комбинированных дефектов, а именно:

- 1) комбинированная потеря металла;
- 2) дефект геометрии + риска;

- 3) дефект геометрии + потеря металла;
- 4) дефект геометрии + дефект сварного шва;
- 5) дефект геометрии + расслоение;
- 6) дефект геометрии + смещение в поперечном шве;
- 7) вмятина СМР – вмятина, нанесённая при проведении строительномонтажных работ и, возможно, содержащая механические повреждения стенки трубы в области вмятины;
- 8) вмятина СМР + потеря металла;
- 9) смещение в поперечном шве + аномалия поперечного шва;
- 10) аномалия поперечного шва + потеря металла;
- 11) аномалия поперечного шва + несплошность плоскостного типа в поперечном шве;
- 12) смещение в поперечном шве + потеря металла;
- 13) смещение в поперечном шве + несплошность плоскостного типа в поперечном шве;
- 14) чопик с комбинированным дефектом (чопик – стальная пробка для устранения сквозных отверстий в стенке трубопровода, устанавливаемая с обваркой по контуру);
- 15) дефект геометрии + потеря металла + риска;
- 16) другие сочетания 3 и более типов дефектов.

Аномалия сварного шва – поры, шлаковые включения, утяжина, подрез, превышение проплава, наплывы, чешуйчатость, отклонения размеров шва от установленных требований, а также те дефекты и особенности сварного шва, которые невозможно точно классифицировать по данным ВТД.

Несплошность плоскостного типа в сварном шве – это трещина, непровар или несплавление.

Приведённая нумерация типов комбинированных дефектов используется в дальнейшем тексте, в том числе в таблицах 1–3.

В таблицах 1–3 указаны количество каждого типа комбинированного дефекта и их доли (в процентах) среди общего числа комбинированных дефектов всех типов в разные годы проведения внутритрубной диагностики.

Большую долю среди комбинированных дефектов имеют дефекты следующих типов: № 2 – «дефект геометрии с риской» (например, в 2006 году – 42,5 %; в 2014 году – 48,4 %), № 3 – «дефект геометрии с потерей металла» (например, в 2006 году – 5,0 %; в 2014 году – 11,7 %). Исследованию этих типов комбинированных дефектов посвящены работы [1, 2], в которых описываются разработанные алгоритмы расчёта магистрального трубопровода на прочность и долговечность с комбинированными дефектами типа «дефект геометрии с риской», «дефект геометрии с коррозионной потерей металла». Отметим, что зарегистрировано большое число комбинированных дефектов типа № 15 – «дефект геометрии + потеря металла + риска» (например, в 2014 году – 20,2 %).

Таблица 1

Число комбинированных дефектов разных типов, и их доля среди общего числа комбинированных дефектов в 2006, 2008, 2009 годах проведения внутритрубной диагностики

Год	2006		2008		2009	
	Число, шт.	Доля, %	Число, шт.	Доля, %	Число, шт.	Доля, %
1	0	0	0	0	0	0
2	17	42,5	12	9,4	6	7,4
3	2	5,0	44	34,4	2	2,5
4	16	40,0	16	12,5	0	0
5	4	10,0	0	0	1	1,2
6	0	0	0	0	2	2,5
7	0	0	0	0	27	33,3
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	35	27,3	21	25,9
10	0	0	1	0,8	0	0
11	1	2,5	0	0	0	0
12	0	0	0	0	3	3,7
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0,0
16	0	0	20	15,6	19	23,5
Всего	40	100,0	128	100,0	81	100,0

Таблица 2

Число комбинированных дефектов разных типов, и их доля среди общего числа комбинированных дефектов в 2010, 2011, 2013 годах проведения внутритрубной диагностики

Год	2010		2011		2013	
	Число, шт.	Доля, %	Число, шт.	Доля, %	Число, шт.	Доля, %
1	9	6,1	0	0	0	0
2	34	23,0	102	63,4	10	7,6
3	66	44,6	43	26,7	98	74,2
4	3	2,0	7	4,3	5	3,8
5	0	0	0	0	0	0
6	1	0,7	0	0	0	0
7	3	2,0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	16	10,8	1	0,6	6	4,5
10	0	0	0	0	0	0
11	3	2,0	0	0	3	2,3
12	1	0,7	0	0	0	0
13	0	0	0	0	4	3,0
14	0	0	2	1,2	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	12	8,1	6	3,7	6	4,5
Всего	148	100,0	161	100,0	132	100,0

Известны правила расчёта предельного давления и предельного срока эксплуатации секции магистрального нефтепровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с потерей металла» из нормативных источников РД-23.040.00-КТН-115-11 «Нефтепроводы и нефтепродуктопроводы магистральные. Определение прочности и долговечности труб и сварных соединений с дефектами» (недействующий) и РД-23.040.00-КТН-011-16 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Определение прочности и долговечности труб и сварных соединений с дефектами» (действующий). В этих источниках используются одни и те же расчётные схемы, содержащие одинаковые формулы, а также один и тот же принцип расчётов. Этот принцип можно сформулировать так: сначала выполняется расчёт дефекта геометрии с учётом взаимодействия с потерей металла (первый расчёт), затем выполняется расчёт потери металла с учётом взаимодействия с дефектом геометрии (второй расчёт); среди двух полученных значений предельного давления (и предельного срока эксплуатации) в качестве окончательного ответа выбирается наименьшее значение.

В разработанных авторами алгоритмах расчёта на прочность и долговечность секции магистрального трубопровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с коррозионной потерей металла» [2, 3] производится один расчёт, в котором учитывается взаимное влияние дефекта геометрии и дефекта потери металла. Поэтому уменьшается число выполняемых математических операций по сравнению с методиками и правилами из вышеупомянутых нормативных источников приблизительно в 2 раза.

Таблица 3

Число комбинированных дефектов разных типов, и их доля среди общего числа комбинированных дефектов в 2014, 2016, 2017 годах проведения внутритрубной диагностики

Год	2014		2016		2017	
	Число, шт.	Доля, %	Число, шт.	Доля, %	Число, шт.	Доля, %
1	2	0,9	1	0,3	3	0,6
2	108	48,4	292	85,6	417	84,9
3	26	11,7	0	0	0	0
4	3	1,3	1	0,3	5	1,0
5	2	0,9	2	0,6	3	0,6
6	3	1,3	0	0	0	0,0
7	20	9,0	13	3,8	9	1,8
8	4	1,8	3	0,9	4	0,8
9	4	1,8	0	0	5	1,0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0

14	2	0,9	0	0	0	0
15	45	20,2	25	7,3	36	7,3
16	4	1,8	4	1,2	9	1,8
Всего	223	100,0	341	100,0	491	100,0

Выполнено сравнение значений предельного давления секции магистрального нефтепровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с потерей металла», приведённых в отчётах по ВТД и полученных в результате расчёта предельного давления по разработанной методике [3].

В таблице 4 имеются следующие данные: год проведения внутритрубной диагностики; номер дефекта (нумерация выполнена авторами данной работы); номер секции (нумерация выполнена авторами данной работы); геометрические параметры (или размеры) дефекта геометрии – длина, ширина, глубина; геометрические параметры (или размеры) дефекта потери металла – длина, ширина, глубина; толщина стенки трубы; проектное давление; предельное давление из отчёта по ВТД; предельное давление по расчёту при использовании разработанной методики для категорий участков трубопровода III–IV, I–II и В (высшая).

Таблица 4

Сравнение значений предельного давления секции магистрального трубопровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с потерей металла», приведённых в отчёте по ВТД и рассчитанных по разработанной методике

Год отчёта по ВТД	2008	2013	2013	2014	2014
Номер дефекта (нумерация авторов)	1	2	3	4	5
Номер секции магистрального нефтепровода	3620	17180	58630	21800	23590
Размеры дефекта геометрии:					
длина, мм	2103	311	230	437	430
ширина, мм	636	322	177	591	596
глубина, мм	9	7,8	3,1	11,3	9,2
Размеры потери металла:					
длина, мм	14	16	4	212	86
ширина, мм	9	43	9	118	60
глубина, мм	1,2	1	1,7	0,6	1,1
Толщина стенки трубы, мм	10,5	9,7	9,4	9,3	9,6
Проектное давление, МПа	5,8	5,4	4,8	5,3	5,3
Предельное давление из отчёта по ВТД, МПа	5,1	4,7	3,8	5,3	5,3
Предельное давление по расчёту, МПа:					
категория III–IV	8,8	8,7	9,4	7,3	7,7
категория I–II	7,2	7,2	7,8	6	6,3
категория В	5,5	5,6	6	4,6	4,9

Расчёты выполнялись для разных категорий, так как в данных по результатам диагностики отсутствовали сведения о категории участка трубопровода.

Использовались также следующие исходные данные для участка магистрального нефтепровода «Ухта–Ярославль»: марка стали труб 17Г1С; наружный диаметр $D = 820$ мм.

Из данных таблицы 4 видно, что оценка прочности магистрального нефтепровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с потерей металла» очень строгая, наблюдается переоценка опасности этого дефекта.

Если категория участка нефтепровода III–IV во всех 5 случаях, то предельное давление по расчёту при использовании разработанной методики во всех случаях больше предельного давления, указанного в результатах ВТД. Дефекты, которые, исходя из результатов ВТД, входили в категорию требующих снижения давления (это дефекты № 1–3 по нумерации из таблицы 4, для которых предельное давление меньше проектного давления), теперь выходят из неё благодаря результатам расчёта по разработанной методике. Тогда не требуется производить понижение давления в трубопроводной системе. Понижение давления приводит к уменьшению фактической пропускной способности магистрального нефтепровода. Сроки ремонтных работ по удалению рассматриваемых дефектов (5 штук) отодвигаются на более поздние даты, поэтому не требуется выполнять большие объёмы ремонтных работ в ближайшее время. Кроме того, трубы с дефектами, требующие снижения давления, должны быть все отремонтированы в кратчайший срок. Выполнять эти ремонты нет необходимости по итогам оценки прочности секций магистрального трубопровода по разработанной методике.

Созданная методика расчёта на прочность и долговечность магистрального трубопровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с коррозионной потерей металла» позволяет оптимизировать объёмы и сроки ремонтных работ с учётом фактического технического состояния трубопровода и не обладает избыточным консерватизмом, из-за которого опасность комбинированных дефектов переоценивается.

Список литературы

1. Садыков, Р. В. Разработка методов расчета несущей способности и остаточного ресурса нефтепроводов с комбинированными дефектами (вмятинами с рисками и трещинами) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19, 05.26.03 / С. Р. Венерович. – Уфа, 2008. – 139 с.

2. Сальников, А. В. Совершенствование методики расчета труб на долговечность с комбинированными дефектами типа «дефект геометрии с коррозионной потерей металла» / А. В. Сальников, А. А. Игнатик // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2018. – № 3. – С. 62–70.

3. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2018614545 Рос. Федерация, заявка № 2018611768 от 25.02.2018, опубл. 10.04.2018. Программа для расчёта предельного давления секции магистрального нефтепровода с комбинированным дефектом типа «дефект геометрии с потерей металла» / правообладатель и автор А. А. Игнатик. – Бюл. № 4. – 1 с.

4. Трубопроводный транспорт нефти : учебник для вузов. – В 2 т. Т. 2. / С. М. Вайншток [и др.] ; под ред. С. М. Вайнштока. – Москва : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 621 с.

УДК 621.6

Ли Синь, Тао Ин, Якубовская С.В., Маркова Л.М.

Стратегическая концепция по ранней диагностике и противокоррозионная защита магистральных нефтепроводов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень,
Китай

Аннотация: При эксплуатации магистральных нефтепроводов актуальными проблемами являются оптимизация технологических параметров транспортных систем, создание информационной модели о состоянии объекта, анализ и обработка данных диагностического обследования и выдача рекомендаций, на основании которых осуществляется прогнозирование остаточного ресурса сооружения.

Abstract: During the operation of main oil pipelines, actual problems are the optimization of the technological parameters of transport systems, the creation of an information model on the state of the object, the analysis and processing of diagnostic survey data and the issuance of recommendations, based on which the residual life of the structure is predicted.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, диагностика, коррозия, защита от коррозии, эксплуатация нефтепроводов.

Keywords: main pipeline, diagnostics, corrosion, corrosion protection, operation of oil pipelines.

Эксплуатация современных нефтепроводов основана на системном подходе, что означает рассмотрение каждого нефтепровода во взаимосвязи с другими элементами системы нефтеснабжения. Система нефтепроводов северных районов формировалась в течение последних 45 лет и отражает характерные для этого периода уровень техники, используемой при строительстве и эксплуатации; материалы труб, изоляционных покрытий и установки электрохимической защиты (ЭХЗ). Противокоррозионная защита была реализована в соответствии с действовавшими ранее требованиями и ограничениями по размещению и приоритетности моделей станций катодной защиты (СКЗ). Обследование коррозионных разрушений на существующем трубопроводе проводилось на основании данных коррозионной активности почвы по отношению к углеродистой стали подземного сооружения, оцениваемой по удельному электрическому сопротивлению грунта,

потере массы образцов и плотности поляризующего тока. В качестве критерия качества комплексной защиты трубопроводов было принято переходное сопротивление, которое характеризует состояние изоляционного покрытия и позволяет оптимизировать величину защитного тока катодной поляризации трубопровода. Снижение переходного сопротивления во времени указывает на необходимость либо увеличения силы тока катодных станций и их количества, либо проведения ремонтно-восстановительных работ. Одним из основных недостатков приведенного способа диагностики состояния ЭХЗ явилось использование преобразователей, конструкции которых не предусматривали оснащение их счетчиками времени наработки. При проектировании магистральных нефтепроводов параметры ЭХЗ, как правило, не увязывались с возможностями преобразовательной техники.

Использование морально устаревших конструкций СКЗ делало практически неразрешимой задачу определения эффективности работы, оценки допустимой продолжительности простоя и надежности преобразователей. Введенная форма отраслевой статистической отчетности позволяет учесть защищенность сооружения во времени, но составить по данным реальную картину эксплуатационных показателей не представляется возможным, поскольку отсутствует методика, позволяющая объединить пространственные и временные диагностические данные. Проектные расчеты предполагают увеличение мощности СКЗ на десятилетний срок за счет ухудшения состояния изоляции. Действительная информационная модель нефтепровода, созданная после фиксации технических характеристик и параметров сооружения, позволяет усомниться в правильности проектных решений. Таким образом, в настоящее время методика, позволяющей адекватно описать поведение средств ЭХЗ в реальных условиях длительной эксплуатации, нет. Следовательно, возможен анализ и попытка вывода закономерностей коррозионных показателей, полученных при проведении интенсивных измерений: потенциалов труба/грунт; воронок напряжений; поляризационных потенциалов. Наряду с названными показателями большой интерес предоставляют данные обследования состояния с целью определения особенностей распределения изменения технологических и эксплуатационных напряжений.

В период с 2012 по 2016-гг. эксплуатации нефтепроводов северных районов Тюменской области была обследована шестая часть системы методов интенсивных измерений и проведена техническая инспекция с целью экспертной оценки долговечности и остаточного ресурса транспортных магистралей. Метод интенсивных измерений предполагает определение потенциалов и воронок напряжений вдоль трубопровода.

Пассивная защита системы нефтепроводов, как показали результаты обследования, имеет два типа дефектов покрытия: один из них имеет четкие границы, диаметром от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров, и второй – покрытия с многочисленными гофрами, протяженность участков подобного типа составляла от 10 до 100 м. Де-

фекты покрытия были выявлены менее дорогостоящим методом, каким являются интенсивные измерения, при помощи прибора C-Scan. Прибор служит для качественной оценки покрытия. Принцип действия заключается в измерении величины переменного тока, полученного от отдельного генератора и поступающего на нефтепровод. Контролирующим параметром является величина потребления тока между двумя точками измерения. Полученная информация о состоянии изоляционного покрытия была обработана в сочетании с данными внутритрубной диагностики. В совокупность выявленных неисправностей входили коррозионные дефекты; потери металла стенки трубы, вызванные коррозионным износом и механическими повреждениями; вмятины; поперечные трещины в основном металле и сварных соединениях. В дополнение к названным методам контроля за состоянием труб и противокоррозионной защиты на прогнозируемых неблагоприятных участках осуществлялась шурфовка, которая обнаружила продольные трещины. Длина трещины или полей находилась в пределах от нескольких миллиметров до 40 см. Трещины были сориентированы параллельно продольной оси трубопровода. Поля трещины были обнаружены в зоне кольцевых сварных соединений.

Заключение о наличии продольных трещин нельзя было сделать по результатам измерения поляризационных потенциалов, поскольку в местах шурфовки средний по величине потенциал отключения $U_{Cu/CuSO_4} = -1,1$ В указывал на нормальный режим работы катодной защиты в этой зоне.

Для выявления дополнительных влияющих на образование продольных трещин факторов по методу Веннера было измерено удельное сопротивление грунта в зонах дефектов. Расстояние между электродами $a = 1,6$ м (во всех случаях вертикально по отношению к трубопроводу). Оно составляет от 12,5 Ом·м до 21 Ом·м.

После проведения анализа химического состава грунтов обследуемых трубопроводов выявилась тенденция увеличения случаев коррозионного растрескивания металла в присутствии повышенного содержания хлоридов и сульфатовосстанавливающих бактерий.

Влияние различных факторов на коррозию трубопроводов уменьшается по мере приближения к насосным станциям и доминирующее значение приобретают факторы эксплуатационного характера. Расчетная толщина стенки труб обеспечивает безопасную работу только при условиях сопротивления металла статическим растягивающим нагрузкам, способным вызвать пластическую деформацию, а затем разрыв трубы. Колебания статического внутреннего давления, ощущаемые особо остро вблизи насосных станций, способствуют зарождению и распространению трещин в трещиноподобных дефектах металла труб (концентраторах напряжений, несплошностях, коррозионных очагов), которые всегда имеются в конструкциях. В зависимости от температуры, скорости распространения трещин, концентраторов напряжений изменяется величина критического разрушающего напряжения $\sigma_{кр}$ при вязком разрушении после упругопла-

стической деформации. Хотя разрушения могут быть и хрупкими. Но вследствие длительного действия постоянных нагрузок при изменении температуры, что наблюдается при работе нефтепроводов, возникает замедленное вязкое усталостное разрушение, которое интенсифицируется наличием коррозионных очагов. Составить прогноз появления трещин, определить критический размер дефектов и установить обоснование нормы по допускаемым дефектам позволяет сделать статистический материал, полученный вследствие технической инспекции трубопроводов.[4]

В некоторых работах предлагается в качестве критериев определения критического состояния конструкции, т. е. момента ее разрушения, следующие характеристики: длину трещины, коэффициент интенсивности напряжений, разрушающее усилие, интенсивность высвобождения упругой энергии, называемой вязкостью разрушения, температура пластично-хрупкого перехода стали труб. Экспериментальные данные и аналитические зависимости позволяют прогнозировать применимость труб из данной стали для определения параметров транспортируемого продукта. Использовать результаты прогноза можно лишь с введением поправок, полученных на основании результатов обследования трубопроводов.

Список литературы

1. Краус, Ю. А. Защита трубопроводов от коррозии: учебное пособие / Ю. А. Краус. - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 107 с.
2. Эксплуатация магистральных и технологических нефтегазопроводов. Распределение и учет: учебное пособие для студентов вузов, по направлению подготовки "Нефтегазовое дело" / С. Ю. Подорожников [и др.] ; Под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. - Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. - 370 с.
3. Егорова, Г. И. Основы коррозии и коррозионная защита. Учебное пособие для вузов / Г. И. Егорова. - Издательство ТюмГНГУ, 2011.
4. Каримова Ю.А Подорожников С.Ю. Неразрушающий контроль промысловых трубопроводов / Ю.А. Каримова, С.Ю.Подорожников, Е.В. Огудова // Нефтегазовый терминал. Выпуск 14: Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. магистрантов имени профессора Н.А. Малыгина / под общ. ред. М.А. Александрова – Тюмень : ТИУ, 2018. – С 165-169.

УДК 656.13/73.31.41

Пучук П.Е.

Анализ методов контроля влагосодержания природного газа в промысловых условиях

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Задача контроля влагосодержания в природном газе стоит во всей газовой отрасли, т.к. наличие влаги приводит к образованию гидратов, серьезно ослож-

няющих эксплуатацию газопроводов. Наличие большого числа анализаторов не облегчает решение этой задачи, т.к. выбор метода контроля влагосодержания имеет специфику в зависимости от конкретного процесса. В данной работе проанализированы существующие методы контроля влагосодержания, а также проведен анализ различных моделей анализаторов газа с точки зрения их применимости на установках осушки газа.

Abstract: The task of monitoring water content in natural gas costs throughout all the gas industry, as moisture leads to the formation of hydrates, seriously complicating the operation of the pipeline. The large number of analyzers does not facilitate the task, because the choice of method control is very specific and depending on the specifics of a particular technological process. In this paper, the existing moisture content control methods are analysed and also the analysis of various models of analyzers of gas in terms of their applicability on gas dehydration units is carried out.

Ключевые слова: гидратообразование, конденсационный анализатор точки росы, контроль влагосодержания, природный газ, температура точки росы

Keywords: condensing dew point analyzer, dew-point temperature, formation of hydrates, monitoring water content, natural gas

Добываемый из скважин природный газ проходит обязательную подготовку перед транспортировкой конечному потребителю. Это связано с тем, что природный (или попутный нефтяной) газ, являясь сложной смесью различных углеводородных компонентов, содержит помимо них различные примеси, оказывающие существенное влияние на процесс транспортировки газа по магистральным трубопроводам. Наиболее значимыми являются примеси воды, наличие которой недопустимо по многим причинам. Водяные пары увеличивают стоимость перекачки, ухудшают качество конечного продукта, приводят к ускорению коррозии трубопровода. Самым же серьезным последствием является гидратообразование, которое происходит при определенных условиях транспортировки. В результате уменьшается пропускная способность газопровода (до полной закупорки), повреждаются фильтры, краны, компрессоры. Гидраты являются соединением избыточной воды с парами жидких углеводородов, конденсирующимися из газа при транспортировке с образованием эмульсий, которые при рабочем давлении представляют собой твердые массы. Образование гидратных пробок в трубопроводах газоконденсатных месторождений Крайнего Севера считается весьма серьезной аварией, ликвидация которой является чрезвычайно дорогим мероприятием. Стоимость ликвидации только одной крупной гидратной пробки даже в месте, доступном для передвижения транспортных средств, может составить несколько десятков тысяч долларов [1].

С технологической точки зрения важно не абсолютное значение количества влаги в газе, а степень близости текущего термодинамического состояния этого водяного пара к насыщенному состоянию, при котором, собственно, и происходит конденсация влаги. Поэтому наиболее приемлемой характеристикой в промышленных условиях является температура точки росы (ТТР) по воде – температура, при которой осуществляется фазовый переход паров воды в конденсированное состояние (жидкость или

иней). Сушка газа на месторождении является обязательной и наиболее важной процедурой его подготовки к дальнейшему транспорту. В результате осушки ТТР паров воды должна быть снижена до уровня ниже минимальной температуры при транспортировании газа. Наиболее распространенным способом осушки газа является абсорбция паров воды жидкими сорбентами – ди- или триэтиленгликолем (ДЭГ или ТЭГ). В соответствии с требованиями отраслевого стандарта [2, с. 2], степень осушки нормируется в единицах температуры точки росы (ТТР) по влаге и составляет от минус 10 до минус 20 °С в зависимости от сезона. Эффективность процесса осушки зависит от точности измерения целевого показателя качества подготовки газа – ТТР осушенного газа. Поэтому выбор анализатора, обеспечивающего требуемую точность и надежно работающего на потоке, является актуальной задачей, особенно в условиях Крайнего Севера.

Методика определения ТТР по воде (ТТРв) регламентируется ГОСТ Р 53763-2009, в соответствии с которым этот параметр может измеряться визуальными и автоматическими конденсационными и сорбционными (диэлькометрическим, кулонометрическим, пьезоэлектрическим, интерференционным) методами, т.е. практически любым гигрометром. При этом на рынке присутствует широкая номенклатура гигрометров каждого типа. Тем не менее, измерение влажности природного газа остается серьезной проблемой как в России, так и за рубежом [3]. В качестве основных причин этого можно перечислить следующие:

- наличие в природном газе гидрофильных примесей, на которые анализаторы ТТРв реагируют так же, как и на воду. К таким примесям относятся технологические примеси, прежде всего ДЭГ и ТЭГ, которые уносятся потоком газа и проходят вместе с ним через анализатор, а также метанол, который добавляется в газ для предотвращения гидратообразования (это особенно характерно для России, где его, что называется, не жалеют);
- наличие гидрофобных примесей, к которым относятся высшие и ароматические углеводороды, начиная с бутана, – они испаряются и конденсируются примерно в тех же условиях, что и водяной пар, кроме того, образующиеся гидраты блокируют поверхность чувствительных элементов анализатора;
- наличие химически активных компонентов, например, углекислого газа и сероводорода, которые реагируют с водой с образованием кислоты, вызывающей коррозию чувствительного элемента;
- наличие масляных аэрозолей, парафинов и механических примесей, загрязняющих чувствительный элемент;
- влияние на процессы испарения и конденсации водяного пара сочетания целого ряда термодинамических параметров (например, давления).

Единственным анализатором, реализующим прямой метод измерения и непосредственно определяющим ТТР, является конденсационный анализатор, в котором измеряется температура конденсации паров воды на

охлаждаемом зеркале. Все остальные типы анализаторов реализуют косвенный метод измерения, а для пересчета выходного параметра в единицы ТТР используются специальные таблицы ASTM, ISO или ГОСТ. Надёжность этих табличных данных вызывает сомнения, потому что, например, одни и те же результаты при использовании формул пересчёта по Бюкачке (ASTM D1142-95) и по Гергу (ISO 18453:2004) расходятся на 10-15 градусов. Существующие зависимости получают, как правило, на искусственной смеси водяных паров в азоте, поэтому они сильно отличаются от данных для воды в метане в конкретных рабочих условиях [4].

Таким образом, в силу особенностей промышленной подготовки газа существуют и могут фиксироваться несколько ТТР по различным (по составу и агрегатному состоянию) конденсированным фазам:

- по жидкой воде;
- по льду – температуре выделения из газовой фазы кристаллика льда;
- по газовым гидратам;
- по водометанольному раствору;
- по углеводородам.

Да и такое деление является достаточно условным, т.к. потенциально все конденсированные фазы, содержащие воду, в результате могут образовывать твердые вещества, – например, твердая фаза «лед», кроме воды, может содержать также и растворенные в ней гликоли и/или метанол. При этом для магистральных газопроводов наибольший интерес представляет не сама по себе «ТТР по воде», характеризующая метастабильное состояние переохлажденной воды, а та «точка росы», которая характеризует потенциальные явления, затрудняющие транспорт газа, и в первую очередь – образование твердых фаз (лед, гидраты). Только эта «точка росы» будет характеризовать качество газа с точки зрения его безопасного транспорта. В работе [5] такую точку росы предложено назвать «ТТР по водной фазе», а под определением «водная фаза» в первую очередь понимать воду и полностью растворимые в ней компоненты природного газа (метанол, ДЭГ, ТЭГ).

В работе [6] приведен подробный анализ основных четырех типов поточных анализаторов – конденсационного, с электролитической ячейкой (на основе пятиоксида фосфора), емкостного (на основе окиси алюминия или кремния) и на основе кварцевого кристалла (метод пьезокварцевого микровзвешивания). При этом проанализированы принципиальные физические ограничения, характерные именно для метода измерения и не зависящие от конкретной модели анализатора.

Результаты этого анализа, во-первых, показывают полную непригодность электролитических и емкостных анализаторов для установок осушки газа. Электролитические анализаторы в принципе не способны отличить воду от метанола или ДЭГа, т.е. их выходной сигнал пропорционален суммарному содержанию этих компонентов в потоке, а не концентрации воды. Осушка же газа, как уже отмечалось, чаще всего производится именно с

помощью ДЭГа. Использование на таких установках емкостных анализаторов также невозможно, т.к. при установке в газовом потоке чувствительный элемент «обрастает» пленкой ДЭГа и начинает измерять концентрацию воды в этой пленке, а не в самом газе.

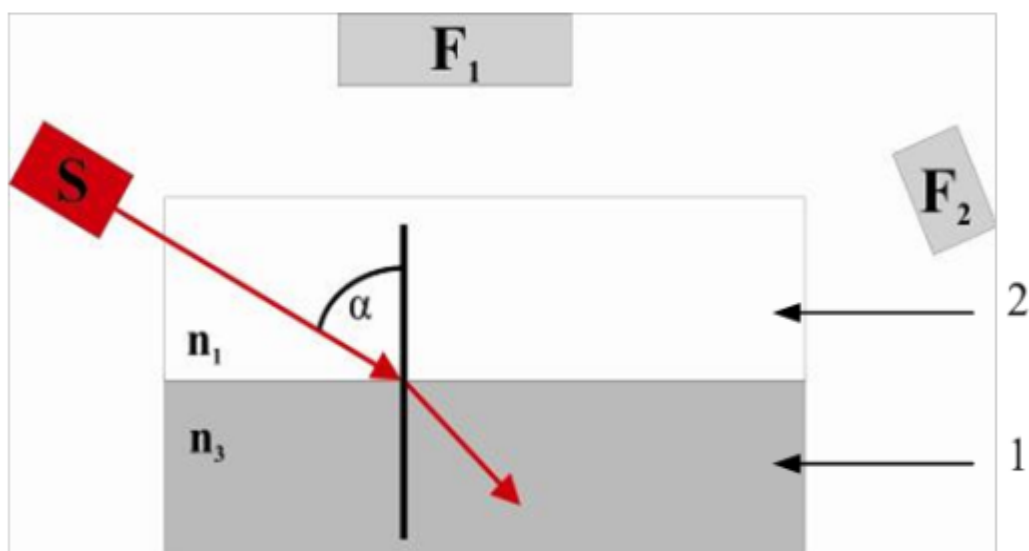
Во-вторых, метод пьезокварцевого микровзвешивания также не является идеальным решением для установок осушки. Несмотря на то, что на сегодняшний день пьезокварцевый анализатор является единственным анализатором влажности, практически нечувствительным к примесям метанола в силу неравновесного принципа измерения [7], он обладает таким существенным недостатком, как неселективность [8]. Полярные молекулы органических соединений адсорбируются на чувствительной матрице более интенсивно, чем пары воды. Применение же мультисенсорной матрицы значительно усложняет процесс измерения, т.к. требуются от 3 до 8 различных пьезосенсоров, необходима специальная программа визуализации и обработки массива откликов пьезосенсоров для проведения качественного и количественного анализов. Кроме того, анализаторы на основе пьезокристалла реализуют косвенный метод измерения ТТР – эти устройства измеряют абсолютную влажность, а для пересчета в единицы ТТР опять-таки требуются таблицы.

Следовательно, учитывая, что при измерении «точки росы» определяется температура начала выделения жидких или твердых фаз, предпочтение следует отдать приборам конденсационного типа, хотя они тоже не лишены ряда недостатков. Основным является неспособность отличить воду от метанола и ДЭГа. Однако в некоторых моделях анализаторов за счет различных ухищрений этот недостаток нивелируется до приемлемого уровня. Безусловно, такой прибор должен быть автоматическим и иметь определенные характеристики, которые учитывали бы специфику процесса конденсации.

На сегодняшний день наибольший интерес вызывают конденсационные анализаторы НПО «Вымпел» (они приняты в качестве средства измерения ТТР природного газа в ПАО «Газпром») и поточный анализатор измерения точки росы углеводородов и воды «Dewpoint Duo» фирмы «ZEGAS».

Линейка анализаторов НПО «Вымпел» включает несколько моделей: анализаторы точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-Прима-2М» и «КОНГ-Прима-10», «Hydrovision-BL», «Hydrovision-Mini».

Во всех преобразователях НПО «Вымпел» («КОНГ-Прима-2М», «КОНГ-Прима-10», «Hydrovision-BL», «Hydrovision-Mini») используется лазерно-конденсационный метод измерения точек росы газа по воде и углеводородам. Сущность конденсационного метода измерения температуры точки росы заключается в охлаждении анализируемого газа до температуры, при которой начинается выпадение конденсата и измерении данной температуры. В конденсационном гигрометре конденсат выпадает на плоской зеркальной поверхности пластины, как правило, изготовленной из диэлектрического материала (кремния).



*Рис. 1. Полное преломление света в диэлектриках:
1 - диэлектрическое охлаждаемое зеркало; 2 - исследуемая среда (газ); S – лазерный диод; F1, F2 – фотоприемники системы регистрации; α – угол Брюстера*

Выпадение конденсата определяется оптической системой путем определения изменения интенсивностей отраженного и рассеянного с поверхности пластины света. Температура конденсации определяется по термометру сопротивления, встроенному в пластину. Результат измерений температуры точки росы может быть определен по моменту выпадения конденсата либо по моменту установления равновесной толщины конденсата. В преобразователях НПО «Вымпел» используется оригинальный запатентованный способ оптической регистрации выпадения конденсата на поверхность охлаждаемого зеркала. Особенность способа регистрации состоит в использовании эффекта полного преломления. Полное преломление — эффект, проявляющийся при падении продольных плоскополяризованных волн на границу раздела разнородных сред, и заключающийся в отсутствии отраженной волны. Эффект возможно наблюдать только в случае падения потока вертикально поляризованной волны на границу раздела сред под углом Брюстера [9].

Световая волна, падая на границу раздела «газ – диэлектрическое зеркало», частично поляризуется. Можно подобрать такой угол падения (угол Брюстера), при котором происходит полная поляризация отраженной волны. В этом случае система регистрации фиксирует нулевой уровень фотосигнала с фотоприемников. При охлаждении зеркала и появлении на поверхности капель конденсирующихся паров воды происходит интенсивное рассеяние света. Система регистрации реагирует на процесс конденсации паров воды возрастанием уровня фотосигнала, поступающего с первого фотоприемника, расположенного параллельно поверхности зеркала. Уровень фотосигнала зависит от количества воды, сконденсировавшейся на

поверхности охлаждаемого зеркала. При образовании на зеркале тонкой пленки углеводов, имеющей другой показатель преломления, закон Брюстера нарушается и появляется волна, отраженная от границы раздела сред «газ – пленка». Кроме того, ввиду оптической прозрачности сконденсированной пленки появляется вторая отраженная волна от границы раздела «пленка – зеркало». В результате второй фотоприемник фиксирует два отраженных луча, которые образуют интерференционную картину. Таким образом, в анализаторе присутствует несколько информационных каналов: основной, фиксирующий прямой отраженный сигнал, и два дополнительных, фиксирующих рассеяние света в прямом и обратном по отношению к световому потоку лазера направлениях. По различной реакции каждого информационного канала на образование на зеркале при его охлаждении конденсата происходит дифференцирование компонентного состава этого конденсата (вода, лед, гидраты, углеводороды и др.). Это даёт возможность однозначно и с высокой степенью точности идентифицировать конденсацию на зеркале анализатора углеводов и воды [10].

Анализатор точек росы по влаге и углеводородам Hygrovision-BL (анализатор HV) обладает расширенными функциональными возможностями – он является одновременно автоматическим поточным гигрометром и контрольным визуальным гигрометром, а наличие автономного питания позволяет использовать его как переносной прибор. На сегодняшний день аналогов в мировой линейке анализаторов ТТР у этого прибора нет [10]. Охлаждаемое зеркало в этом анализаторе, как и в предыдущем случае, выполнено из диэлектрического материала с высоким коэффициентом отражения. Освещение зеркала осуществляется двумя источниками света: для визуальной регистрации пленки воды – видимого поляризованного излучения, а углеводородной пленки – видимого неполяризованного света. Благодаря такой оригинальной оптической системе визуализации значительно упрощается идентификация выпавшего конденсата. При появлении пленки углеводов наблюдается интерференция («цветопобежалость»), а при выпадении росы происходит рассеяние света.

Анализатор HV, как уже упоминалось, может использоваться для контроля точности результатов измерений поточными конденсационными и сорбционными гигрометрами, т.к. ГОСТ Р 53763-2009 [3] предусматривает использование для этой цели именно визуальный конденсационный метод.

В основе прибора «DEWPOINT DUO» фирмы «ZEGAS» лежит метод измерения CEIRS™ (Chilled-Evanescent Infrared Spectroscopy), запатентованный метод с использованием комбинации оптической кристаллической и инфракрасной спектроскопии на охлаждаемой поверхности, который позволяет определять точку росы одновременно и для воды, и для углеводов, при этом исключая ложные сигналы [11].

Метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) основан на физических явлениях, которые возникают при отражении света на границе раздела двух сред с разной оптической плотностью. Когда свет, проходя через среду с относительно высоким показателем преломления

(кристалл НПВО) падает на границу раздела со средой с меньшим показателем преломления (образец) под углом падения больше критического (предельный угол полного отражения), то излучение от этой граничной поверхности отражается почти полностью. Однако даже при полном отражении излучение всё же проникает в граничащую с кристаллом среду на небольшую глубину. Глубина проникновения светового луча в пробу является функцией длины волны, показателей преломления кристалла и исследуемого вещества и угла падения. В зависимости от того, поглощает или не поглощает излучение соседняя среда, то есть в данном случае образец, изменяется интенсивность отражённого света. В результате получается спектр отражения, подобный спектру пропускания. В этом спектре волновые числа, при которых происходит специфичное для данного вещества поглощение, будут такими же, как при измерении в проходящем свете.

Поглощение веществом в области инфракрасного излучения происходит за счёт колебаний атомов в молекулах. Колебания подразделяются на валентные (когда в ходе колебания изменяются расстояния между атомами) и колебательные (когда в ходе колебания изменяются углы между связями). Переходы между различными колебательными состояниями в молекулах квантованы, благодаря чему поглощение в ИК-области имеет форму спектра, где каждому колебанию соответствует своя длина волны. Понятно, что длина волны для каждого колебания зависит от того какие атомы в нём участвуют, и кроме того она мало зависит от их окружения. То есть для каждой функциональной группы характерны колебания определённой длины волны, точнее говоря даже для каждой группы характерен ряд колебаний (соответственно и полос в ИК-спектре). Именно на этих свойствах ИК-спектров основана идентификация соединений по спектральным данным. Однако не всё так просто. Во-первых, метод ИК-спектроскопии не является разделяющим методом, то есть при исследовании какого-либо вещества может оказаться, что исследовалась на самом деле смесь нескольких веществ, что конечно сильно исказит результаты расшифровки спектра. Ну и всё же говорить об однозначной идентификации вещества с помощью метода ИК-спектроскопии не вполне правильно, так как метод скорее позволяет выявить определённые функциональные группы, а не их количество в соединении и их способ связи друг с другом.

Анализируемое вещество размещается в соответствующем держателе в непосредственном контакте с поверхностью кристалла, обладающего высоким коэффициентом преломления. Обязательным условием нарушенного полного внутреннего отражения является оптический контакт образца с кристаллом. С помощью прижимного устройства можно достаточно сильно прижать неровную или порошкообразную пробу к кристаллу. Свет от источника излучения попадает в кристалл с плоскими параллельными гранями. Угол падения луча выбирается таким образом, чтобы эффект НПВО возникал именно на этих гранях. После многократных отражений излучение выходит из кристалла и возвращается в прибор. Глубина проникновения излучения

вглубь образца зависит от длины волны, коэффициента преломления кристалла и угла падения луча на поверхность (Рис. 2).

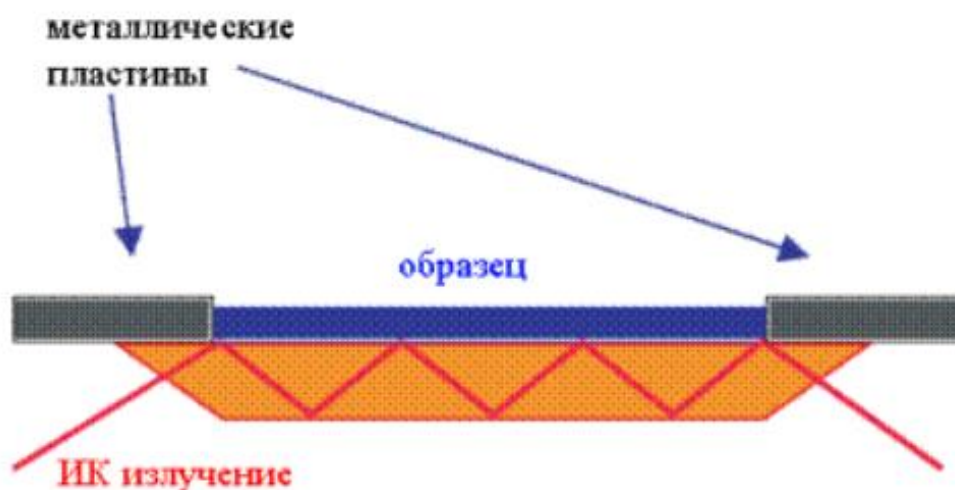


Рис. 2. Ячейка для спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения

Метод CEIRS™ использует описанное выше явление. Оптический кристалл помещается в газовый поток таким способом, что одна сторона подвергается воздействию газа при анализе, и другая сторона нет (рис.3). Затем кратное число ИК лучей посылают на кристалл, заставляя лучи подвергаться полному внутреннему отражению. Кристалл имеет систему охлаждения. При появлении конденсата (точка росы), наблюдается оптическая абсорбция одного или нескольких ИК лучей, в зависимости от химической природы конденсата. В этот момент измеренная температура кристалла является точкой росы[11].

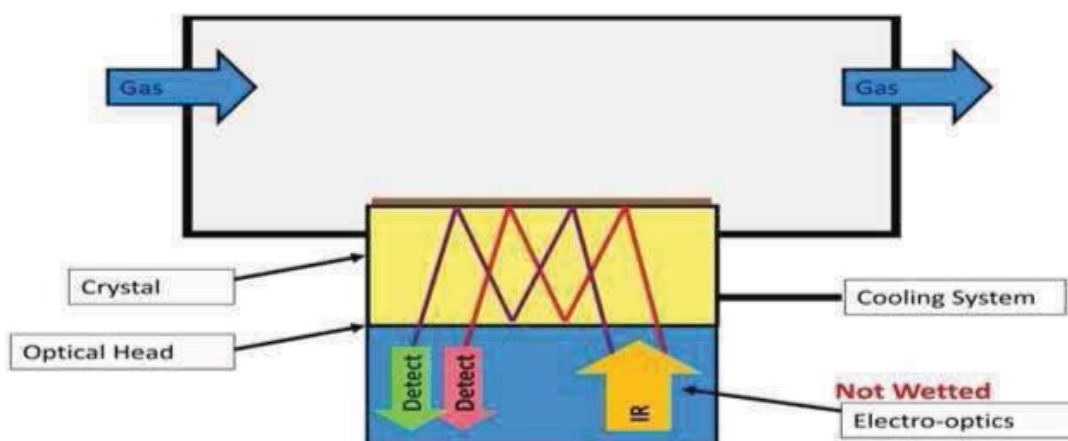


Рис. 3. Метод с использованием комбинации оптической кристаллической и инфракрасной спектроскопии на охлаждаемой поверхности:
Gas – газовый поток, *Crystal* – оптический кристалл, *Optical Head* – оптическая головка, *Cooling System* – система охлаждения,
Not Wetted Electro-optics – электро-оптика вне зоны увлажнения,
IR – инфракрасные лучи, *Detect* – приемник ИК-излучения

Преимущества поточного анализатора измерения точки росы углеводородов и воды «Dewpoint Duo» фирмы «ZEGAS:

- Непревзойденная точность приборов - обеспечивает быстрое непрерывное измерение;
- Прямой принцип измерения - без расчетов и моделей, исключает ошибки;
- Неметаллическое зеркало - устойчивость ко всем видам загрязнений, включая кислоты, H_2S , гликоли и т.д.; малая тепловая масса кристалла, меньше потребляемая мощность, более длительный срок службы; чрезвычайно твердый материал, не будет поцарапан и поврежден;
- ИК-метод - возможность распознавания точек росы углеводородов и воды, основанная на ИК-абсорбции; не восприимчив к другим химическим веществам;

Недостатком данного метода являются то, что метод ИК-спектроскопии не является разделяющим методом, то есть при исследовании паров воды может оказаться, что исследовалась на самом деле смесь нескольких веществ (метанол, ДЭГ), что конечно сильно исказит результаты расшифровки спектра.

Основные технические характеристики всех перечисленных анализаторов приведены в табл. 1.

Таблица 1
Основные технические характеристики современных анализаторов ТТР

Параметр		Тип анализатора				
		КОНГ-Прима-2М	КОНГ-Прима-10	Hygrovision-BL	Hygrovision-MINI	Dewpoint Duo
Диапазон измерения точки росы, °С	По влаге	от минус 30 до +50	от минус 30 до +30	от минус 60 до $T_{окр}$ возд	от минус 50 до $T_{окр}$ возд	от минус 60 до $T_{окр}$ возд -10
	По углеводородам	от минус 30 до +50	от минус 30 до +30	от минус 30 до $T_{окр}$ возд	от минус 50 до $T_{окр}$ возд	от минус 60 до $T_{окр}$ возд -10
Пределы абсолютной погрешности при измерении точки росы, °С	По влаге	±0,5 исполнение по точности А ±1,0 в диапазоне от -30 до $T_{окр}$ ±1,5 в диапазоне от -60 до -30	±0,25 в диапазоне от -30 до +30	±0,25 класс точности А ±0,5 класс точности В ±1,0 класс точности С в диапазоне от -30 до $T_{окр}$ ±1,5 класс точности С в диапазоне от -60 до -30	±1,0	±0,5
	По углеводородам	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±0,5

Учитывая, что недостатки описанных выше анализаторов практически идентичны, можно рекомендовать в качестве метода контроля влагосодержания природного газа использовать конденсационный метод измерения с автоматической и/или визуальной регистрацией температуры точки росы как наиболее удовлетворяющий условиям эксплуатации в системе автоматизации установки осушки газа. Наиболее подходящими с точки зрения критерия «цена/качество», по мнению автора, являются анализаторы точки росы по воде и углеводородам «КОНГ-Прима-10» и Hygrovision-BL

В то же время спектрометрический метод для определения концентрации паров воды в природном газе, реализованный в анализаторе «DEWPOINT DUO» фирмы «ZEGAS» имеет ряд преимуществ, и являются наиболее перспективным направлением развития отрасли анализаторов газа.

Список литературы

1. Голубов, А. С. Анализ модернизации абсорберов системы осушки газа Заплярного газоконденсатного месторождения / А. С. Голубов // Нефть, газ, промышленность. - 2005. - № 8. - С.58-59.
2. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия: СТО Газпром 089-2010. – утв. распоряжением ОАО «Газпром» 25.10.2010: введ. в действие с 08.08.2011. – Москва, 2010. – 16 с.
3. Rolf Kolass. Moisture measurement in natural gas [Electronic resource] / R.Kolass, S.Parker. – Access mode: [http://www.iceweb.com.au/Analyzer/MoistMeas/Advantica Moisture Measurement Paper.doc](http://www.iceweb.com.au/Analyzer/MoistMeas/Advantica%20Moisture%20Measurement%20Paper.doc)
4. Прахова, М. Ю. Некоторые проблемы контроля влагосодержания природного газа в промышленных условиях [Электронный ресурс] / М. Ю. Прахова, А. Н. Краснов, Х. Г. Нагуманов // Современные научные исследования и инновации. 2015. – Ч.1, № 7. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56176>.
5. Крашеников, С. В. Методические проблемы и контрольные методы определения точки росы по водной фазе для природного газа сложного состава [Электронный ресурс] / С. В. Крашеников, М. В. Елистратов, Н. Н. Кисленко // Материалы семинара в ИНХС. – Режим доступа: http://gazanaliz.ru/articles/Water_Phase_Dewpoint/Water_Phase_Dewpoint.html.
6. Измерение влажности природного газа (аналитический обзор) [Электронный ресурс] // Сайт фирмы «Artvik», 2000. – Режим доступа: http://www.artvik.ru/pdf/analyzers_appl/moisture_in_natural_gas_rev3.pdf.
7. Кочетова, Ж. Ю. Определение точки росы методом пьезокварцевого микро-взвешивания [Электронный ресурс] / Ж. Ю. Кочетова, О. В. Базарский, Т. А. Кучменко // Междисциплинарные исследования в науке и образовании, 2012. - № 1 Sp. – Режим доступа: <http://mino.esrae.ru/157-687>.
8. Анализатор точки росы Hygrovision-BL. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] // Сайт фирмы НПО «Вымпел», 2017. – Режим доступа: [http://vumpel.group/upload/iblock/7d5/Руководство по эксплуатации Hygrovision-BL.pdf](http://vumpel.group/upload/iblock/7d5/Руководство_по_эксплуатации_Hygrovision-BL.pdf).
9. Лыков, А. Г. Анализатор точек росы по водным фазам и тяжелым углеводородам Hygrovision-BL [Текст] / А. Г. Лыков, А. М. Деревягин, С. В. Селезнев // Газовая промышленность. - 2012. - Спец. вып. [3]. - С. 79-83.
10. Sohrab Zarrabian. Measuring Hydrocarbon Dew Point [Electronic resource] / S. Zarrabian, M. Moshfeghian. – Access mode: https://asgmt.com/wp-content/uploads/2016/02/092_.pdf.

Диагностика трубопроводных систем хрупкими тензочувствительными покрытиями

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Рассматриваемый метод хрупких тензочувствительных покрытий (ХТП) позволяет проводить мониторинг общих и локальных упругопластических деформаций и дефектов на всех стадиях образования и развития в штатных и аварийных ситуациях.

Abstract: The method of brittle coatings testcustomermap (СТП) allows you to monitor the overall and local elastic-plastic strain and defects at all stages of education and development in normal and emergency situations.

Ключевые слова: хрупкие тензочувствительные покрытия, диагностика, техногенные аварии, экологическая безопасность, тензочувствительность, напряженно-деформированное состояние, трубопроводный транспорт, трещина.

Keywords: fragile testcustomer coverage, diagnostics, technological accidents, environmental safety, thesocialist, the stress-strain state, pipeline transportation, crack.

Проблема обеспечения промышленной и экологической безопасности трубопроводного транспорта углеводородов - нефтепроводов, продуктопроводов и газопроводов - всегда была актуальной.

Трубопроводы работают под воздействием высоких силовых факторов и при нарушении их герметичности, происходит значительный по объему выброс продуктов перекачки. Это не только причиняет материальный ущерб предприятиям трубопроводного транспорта в связи с потерями продукта перекачки, затратами на ликвидацию аварий, штрафными санкциями, но и приводит к загрязнению окружающей среды, создает предпосылки для возникновения чрезвычайных экологических ситуаций техногенного характера.

Основная задача системы диагностики - долгосрочное безаварийное обеспечение работы объектов, раннее получение планируемой информации и определение по результатам прогноза наиболее эффективных способов использования располагаемых материально-технических ресурсов [1].

Диагностику трубопроводных систем, возможно, проводить методом хрупких тензочувствительных покрытий, который хорошо зарекомендовал себя при испытаниях деталей и конструкций, имеющих сложное пространственное расположение элементов и большую неравномерность полей напряжений на их поверхностях.

Диагностика методом ХТП позволит проводить мониторинг за деформациями и напряженным состоянием отдельных участков трубопровода в особо сложных условиях (при просадках и пучении на вечной мерзло-

те, на переходах через водные препятствия, в районах оползневых и карстовых проявлений, тектонических разломов и т.д.).

Рассматриваемый метод неразрушающего контроля хрупких тензочувствительных покрытий основан на том, что нанесенное лаковое покрытие деформируется совместно с поверхностью, на которую оно нанесено, когда напряжения в покрытии достигают предела прочности материала покрытия, в нем образуются трещины, перпендикулярные направлению наибольшего растягивающего напряжения.

Для описания разрушения хрупких материалов подходит критерий максимального растягивающего напряжения, который указывает на то, что разрушение происходит, когда наибольшее главное напряжение в покрытии равно или превышает предел прочности материала покрытия. Если в точке плоского или пространственного поля напряжений известны главные напряжения и их направления или же все компоненты напряжений по любым трем взаимно перпендикулярным граням элемента, то легко можно подсчитать напряжения, действующие в этой же точке на любой другой повернутой площадке.

По картине трещин можно установить наличие и развитие дефекта на исследуемой поверхности конструкции.

При исследовании напряженно-деформированного состояния сложных натуральных конструкций использование метода ХТП существенно сокращает трудоемкость и длительность испытаний, позволяет анализировать процесс разрушения, позволяет при наличии минимального необходимого опыта у экспериментатора получить достаточную информацию о напряженно-деформированном состоянии и особенно ценную информацию о полях деформаций и напряжений в сложных задачах.

Для исследования напряженно-деформированного состояния разработаны несколько типов и составов, хрупких тензочувствительных покрытий, каждое из которых имеет свой диапазон применимости.

Основной характеристикой метода ХТП является тензочувствительность ϵ_0 - величина главной деформации растяжения на поверхности образца, детали или конструкции в условиях линейного напряженного состояния, при котором в хрупком покрытии возникает первая трещина.

Принцип формирования композиции состава хрупкого тензочувствительного покрытия для исследования напряженно-деформированного состояния конструкции включает требования к составу покрытия: прозрачность, высокая чувствительность, хорошая адгезия к конструкционным материалам, заданный предел прочности в интервалах эксплуатационных температур и влажности, устойчивость к углеводородной среде.

Для диагностики трубопроводных систем были использованы хрупкие покрытия на основе фенолоформальдегидных смол, обладающие высокой тензочувствительностью ($\epsilon_0 = 300 \div 1400$) и устойчивостью к разрушающему воздействию углеводородных сред [3].

Методика исследований с применением тензочувствительных хрупких покрытий представляет собой систему операций, необходимых для определения напряженного состояния в исследуемых зонах конструкции [2].

Метод хрупких покрытий может применяться самостоятельно или совмещаться с другими методами диагностики. Совмещение методов позволяет повысить чувствительность метода хрупких тензочувствительных покрытий и оперативно проводить исследования напряженно-деформированного состояния поверхности исследуемой конструкции.

Список литературы

1. Махутов, Н. А. Анализ напряженно-деформированного состояния оборудования нефтегазохимических заводов и трубопроводного транспорта в условиях эксплуатации / Н. А. Махутов, В. Н. Пермяков, Л. Б. Хайруллина // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. - 2009. - № 3. - С. 69-74.

2. Пермяков, В. Н. Безопасность нефтегазохимических объектов: Учебное пособие / В. Н. Пермяков. – Тюмень : ТИУ, 2019. - 279 с.

3. Пат. 2417241 Российская Федерация, МПК 17 G 01В 17/04. Хрупкое покрытие на основе резорцинформальдегидных смол / В. Н. Пермяков, Л. Б. Хайруллина, Н. Н. Паршуков; заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ; заявл. 16.01.2009; опубл. 27.04.2011. Бюл. №3.

УДК 624.139.6

Шабаров А.Б., Примаков С.С., Забора И.В.

Диагностика температурных полей вблизи различных сооружений на многолетнемерзлых грунтах

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень

Аннотация: В основу проектирования на многолетнемерзлых грунтах закладываются фактические значения температур грунта, определяемые в рамках инженерно-геологических изысканий. В данной статье рассмотрены методики проведения натуральных замеров, а также проведён сравнительный анализ показаний датчиков температуры в зависимости от степени их контакта с грунтом.

Abstract: In a design basis on permafrost soil, the actual values of temperatures of soil defined within engineering-geological researches are put. In this article, techniques of carrying out natural measurements are considered and the comparative analysis of indications of sensors of temperature depending on extent of their contact with soil is carried out.

Ключевые слова: Термометрия, многолетнемерзлые грунты, термоскважина, распределение температуры, геотехнический мониторинг.

Keywords: Thermometry, permafrost soil, thermowell, distribution of temperature, geotechnical monitoring.

Освоение северных территорий нашей страны всегда являлось одной из приоритетных задач, так как данные области зачастую являются опорной базой топливно-промышленного комплекса (ТЭК). Ярко-выраженной

особенностью данных регионов является наличие многолетнемерзлых грунтов (ММГ), что в свою очередь дополнительно осложняет этапы проектирования и строительства в труднодоступных регионах.

Особенностью строительства на ММГ является применение, в качестве фундамента различных сооружений, свайного основания. Такая величина как несущая способность сваи при проектировании на ММГ существенно зависит от температуры грунта [1]. Не менее важную роль температура грунта играет при проведении численного моделирования теплосилового взаимодействия различных сооружений с многолетнемерзлыми грунтами оснований, так как в основу всех теплотехнических расчётов закладывается начальное распределение температуры грунта получаемое, например, на этапе проведения инженерно-геологических изысканий [2]. Проведение замеров температуры мёрзлого грунта в рамках геотехнического мониторинга позволяет качественно оценивать изменение геокриологической обстановки при эксплуатации объектов инфраструктуры. Таким образом при строительстве и проектировании на ММГ, определение температуры мерзлых грунтов в натуральных условиях, как на этапе инженерно-геологических изысканий, так и в рамках геотехнического мониторинга при дальнейшей эксплуатации сооружений является важной и приоритетной задачей.

Методика диагностирования температуры мерзлых грунтов регламентируется нормативным документом ГОСТ 25358-2012. Суть данной методики заключается в следующем: в грунте выбуривается скважина колонковым способом диаметром не более 160 мм в которую в дальнейшем спускают гирлянду из датчиков температуры «термокосу» [3], дополнительно по мере необходимости скважина оборудуется обсадной трубой, зачастую стальной. Показания с датчиков снимаются по истечении времени «выстойки», которое может достигать нескольких часов. На крупных проектируемых объектах количество термоскважин может достигать нескольких сотен.

В иностранной научной литературе также встречаются методики определения температуры грунта при которых датчики погружаются на различную глубину в заранее подготовленные скважины [4].

Основным недостатком данных методик является отсутствие непосредственного контакта датчика температуры с грунтом, а также возможное влияние конвективных потоков, возникающих в подготовленной скважине вследствие нарушения устоявшегося температурного режима, при погружении в скважину «термокосы».

Для получения более достоверных результатов замеров температуры, авторами предлагается непосредственная интеграция датчиков температуры в грунт. В рамках анализа был проведён эксперимент, в котором в заранее подготовленную скважину были помещены три, предварительно оттарированных, датчика температуры. Скважина была оборудована обсадной трубой из полипропилена. Датчики располагались на одной глубине 1,6 м,

следующим образом: первый датчик имел непосредственный контакт с грунтом, второй датчик имел контакт с грунтом через стенку обсадной трубы, а третий находился в воздухе на оси обсадной трубы. Перед началом эксперимента все датчики находились в одной среде и диагностировали одну температуру, в момент начала эксперимента все три датчика одновременно были установлены, каждый на свою позицию. Эксперимент проводился в течение 86 минут, графики изменения температуры, фиксируемые датчиками, представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Графики изменения значений температуры датчиков с течением времени. 1-контакт с грунтом (сплошная линия); 2-контакт через стенку (короткий пунктир); 3-датчик в воздухе (длинный пунктир)

Как видно из графиков, приведённых на рис. 1, падение температуры на датчике, имеющем непосредственный контакт с грунтом происходит наиболее интенсивно. На так называемую полочку первый датчик, имеющий контакт с грунтом выходит спустя 10-11 минут после начала эксперимента, после чего в районе близко к нулевым температурам скорость изменения температуры, фиксируемая датчиком, падает. Наиболее низкое значение температуры равное $-0,07$ °C первый датчик диагностирует на 48-й минуте. Второй и третий датчики начинают выходить на полочку спустя 33 и 40 минут соответственно. Второй датчик температуры имеющий контакт с грунтом через стенку трубы диагностирует наиболее низкое значение температуры равное $-0,06$ °C спустя 80 минут. Разница в значениях с первым датчиком составляет $0,01$ °C, что не выходит за рамки погрешности, при этом разница во времени составила порядка 30 минут. Третий датчик температуры находящийся в воздухе за время проведения эксперимента, зафиксировал минимальное значение температуры равное $0,13$ °C,

так и не перейдя в отрицательный диапазон. Разница в значениях температуры с первым и вторым датчиком составляет порядка 0,2 °С.

Выводы:

- Непосредственный контакт датчиков температуры с грунтом позволяет сократить время проведения замеров температуры без потери качества;
- Результаты замеров температуры грунта проводимых в заранее подготовленных скважинах могут быть искажены под влиянием конвективных потоков;
- Непосредственный контакт датчиков с грунтом позволяет получать более точные значения температуры в конкретном слое грунта.

Список литературы

1. Примаков С. С. Влияние динамики распределения температуры многолетнемерзлых грунтов на оценку надежности фундаментов на примере сезонного изменения несущей способности свай / С. С. Примаков, И. В. Забора, Э. А. Аринштейн, А. В. Татосов // Вестник Тюменского государственного университета. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 41-50.
2. Примаков С. С. Расчёт теплового взаимодействия сооружений с многолетнемерзлыми грунтами оснований / С. С. Примаков, И. В. Забора, Л. А. Пульдас // Вестник Тюменского государственного университета. – 2019. – Т. 5, № 2.
3. Пат. 2448335 Российская Федерация, МПК G01K7/16 E21B47/06. Термокоса / Никоненко В. А., Кропачев Д. Ю., Неделько А. Ю., Амосова Е. В.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Эталон». – № 2010120065/28; заявл. 19.05.2010; опубл. 20.04.2012, Бюл. № 11.
4. Brendan O. Field measurements of permafrost conditions beside the Dempster Highway embankment, Peel Plateau, NWT / Brendan O., Chris B., Steve K. // Challenges from North to South: materials of the 68th Canadian Geotechnical Conference and the 7th Canadian Permafrost Conference – Quebec, 2015.

УДК 656.13/73.31.41

Яковлев С.А., Земенкова М.Ю, Голик В.В.

Искусственные нейронные сети для решения задач технического обслуживания в нефтегазовой отрасли

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В статье рассмотрена проблема оценки износа нефтяного оборудования при помощи искусственных нейронных сетей. Описана технология построения нейронной сети, принцип работы и возможности открывающиеся при ее использовании.

Abstract: The article deals with the problem of assessing the wear of oil equipment using artificial neural networks. The technology of building a neural network, the principle of operation and the possibilities offered by its use are described.

Ключевые слова: Нефтегазовая отрасль, искусственные нейронные сети.

Keywords: Oil and gas industry, artificial neural networks.

Всем нашим фактически безупречным организмом управляют нейронные сети (наш мозг), они позволяют выпить чашку кофе, отдернуть руку от горячего чайника и вспомнить как выглядит ночное небо. Основной задачей каких-либо нейронных сетей является анализ и решение поставленной задачи. В нашу жизнь они плотно входят во многих сферах деятельности (например, робототехника и машиностроение), информационно поисковые системы Google уже вплотную с ними работают. Развитие не стоит на месте, искусственный интеллект — это научный прорыв, который выведет информационные технологии на новый качественный уровень.

Нефтегазовая промышленность находится в поиске новых более современных информационных технологий, которые как некогда важны в связи со значительным падением цен на баррель нефти. Для нефтегазовой промышленности искусственные нейронные сети являются лучшим выходом чем обычные алгоритмы информационных вычислений, так как они не программируемы, а обучаемы и с ростом технологий могут самосовершенствоваться. Такие сети могут использоваться на таких этапах как: геологоразведка, стратегическое планирование, добыча и безопасное транспортирование нефти. Особенно хотелось бы выделить безопасность в транспортировке нефти.

В данный момент для оценки износа нефтяного оборудования используют технический метод, но он имеет ряд негативных моментов. Главной проблемой является сложность в постановке точной оценки деградации и аварийности системы из-за разобщенного подхода к анализу и оценке. Что влечет за собой катастрофические последствия. За первые шесть месяцев 2018 года на территории Ханты-Мансийского автономного округа было выявлено 1122 аварии на нефтепроводах. Статистику приводит Природ надзор Югры. В данное время отработано много методов и приемов контроля, но большое количество анализируемой информации затрудняет решения поставленных задач.

Искусственные нейронные сети могут значительно упростить принятия решений в столь глобальном и системном анализе как поиски аварийных, либо проблемных участков в транспортировке нефти. На данный момент уже существуют рабочие образцы искусственных нейронных сетей, которые выполняют следующие работы: поиск ошибок в работе оборудования, определение количества примесей в нефти, работа с геологическими данными. Если включить нейронные сети в работу над прогнозированием и анализом работоспособности трубопровода и оборудования, то это позволило бы снизить вероятность аварии.

Искусственные нейронные сети — это математические модели, работающие по принципу сетей нервных клеток животного организма. Они могут быть реализованы как в программируемые, так и в аппаратные решения. Для простоты восприятия нейрон можно представить, как некую ячейку, у которой имеется множество входных отверстий и одно выходное. Каким образом многочисленные входящие сигналы формируются в выходящий, как раз и определяет алгоритм вычисления. На каждый вход

нейрона подаются действенные значения, которые затем распространяются по межнейронным связям (синопсисам) [1]. У синапсов есть один параметр — вес, благодаря которому входная информация изменяется при переходе от одного нейрона к другому. Легче всего принцип работы нейронной сети можно представить на примере смешения цветов. Синий, зеленый и красный нейрон имеют разные веса. Информация того нейрона, вес которого больше будет доминирующей в следующем нейроне.

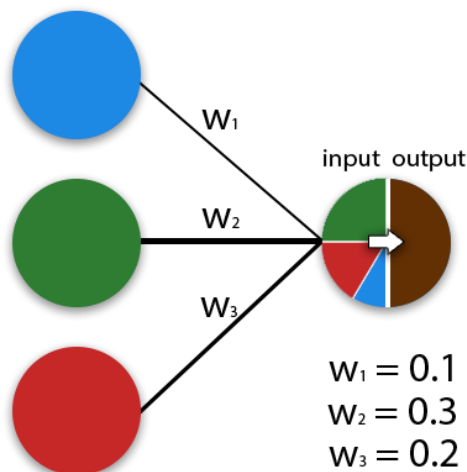


Рис. 1. Принцип работы нейронной сети на примере смешения цветов

Сама нейронная сеть представляет собой систему из множества таких нейронов (процессоров). По отдельности эти процессоры достаточно просты (намного проще, чем процессор персонального компьютера), но будучи соединенными в большую систему нейроны способны выполнять очень сложные задачи.

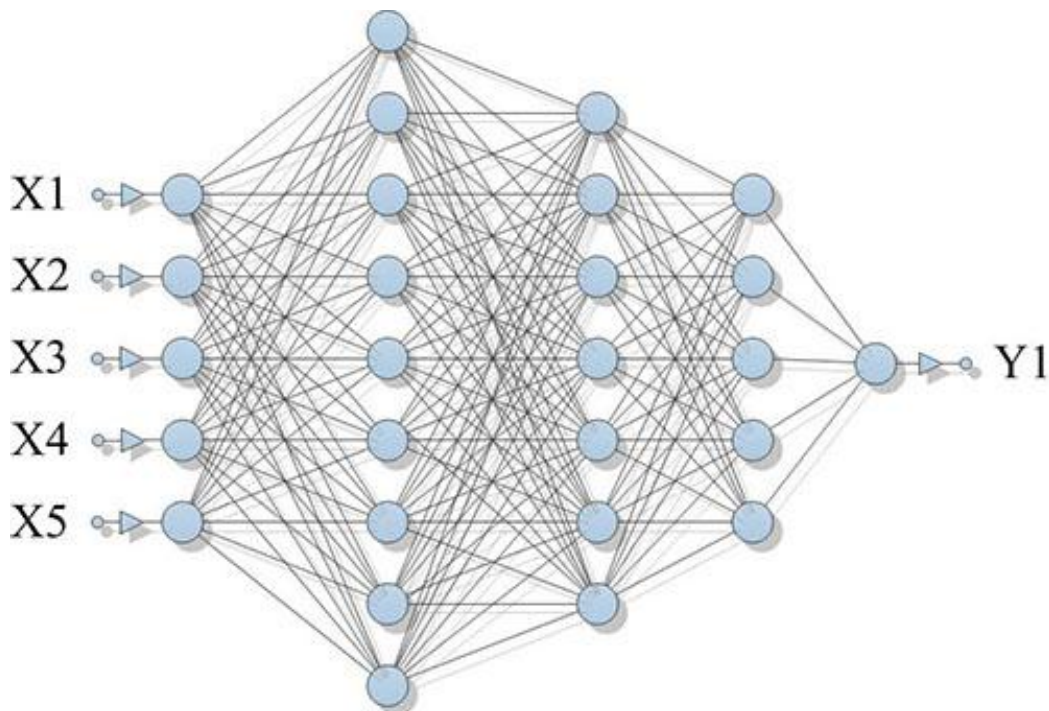


Рис. 2 Пример многослойной нейронной сети

Обучение нейронной сети заключается в нахождении верных коэффициентов связи между нейронами, а также в обобщении данных и выявлении сложных зависимостей между входными и выходными сигналами [2]. Фактически, удачное обучение нейронной сети означает, что система будет способна выявить верный результат на основании данных, отсутствующих в обучающей выборке.

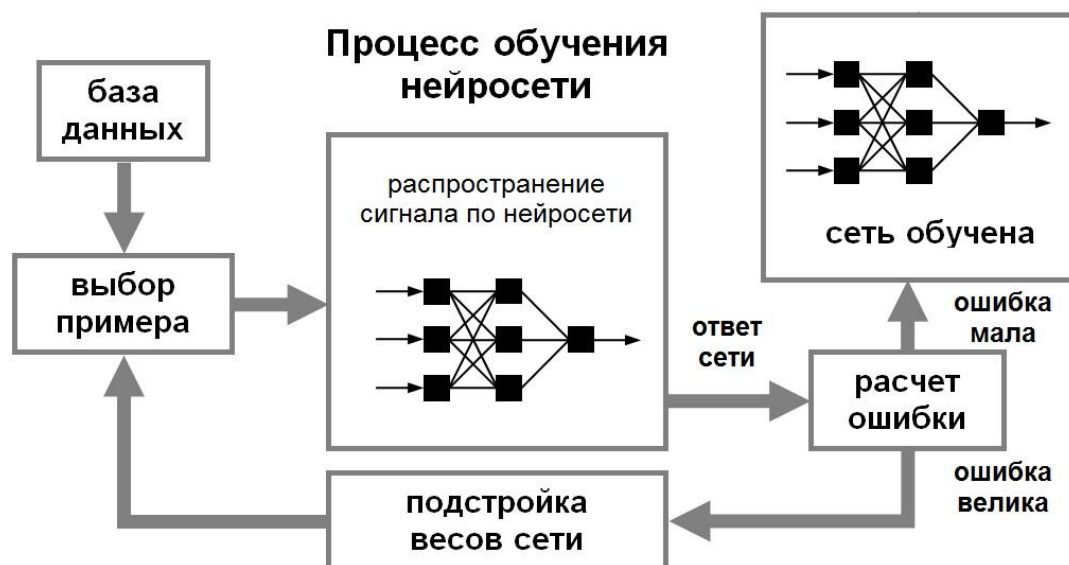


Рис. 3. Алгоритм обучения нейронной сети

Преимущества работы с искусственными нейронными сетями: работа с большим объемом информации, возможность работы не только с фактической информацией, но и с теоретической, распределение полученной информации по коэффициентам значимости, само обучаемость, анализ не одним методом, а множеством, возможность получения информации по системе в целом и по отдельной ее части [3].

К настоящему времени разработано много программных пакетов, реализующих нейронные сети. Вот некоторые, наиболее известные программы-симуляторы нейронных сетей, представленных на рынке программного обеспечения:

Alyuda NeuroIntelligence — Нейросетевое программное обеспечение и расширение для Excel, предназначенное для прогнозирования и анализа данных. Поддерживает несколько алгоритмов. Доступна trial-версия.

Amygdala — Программное обеспечение с открытым исходным кодом для моделирования нейронных сетей, написанное на C++.

Annie — Нейросетевая библиотека для C++ (Windows и Linux) с открытым исходным кодом. Поддерживает MLP, RBF и сети Хопфилда. Наличие интерфейсов для Matlab's Neural Network Toolbox.

Artificial Intelligence Recurrent Asymmetric Networks (NARIA) — Открытый проект о симуляции человеко-подобного интеллекта с помощью нейронных сетей.

Cortex — Приложение, реализующее нейронные сети обратного пространства.

DELVE — Стандартная среда для оценки эффективности методов обучения. Включает в себя набор данных и архив методов обучения.

EasyNN — Нейросетевое программное обеспечение для Windows с числовыми, текстовыми и графическими функциями.

ECANSE — Предоставляет среду разработки для проектирования, моделирования и тестирования нейронных сетей и их применения для производства оптимизированного программного решения.

Fann Neural Network for Mathematica — Бесплатная интерактивная среда для Mathematica, включающая распознавание образов и предсказание временных рядов.

Lightweight Neural Network++ — Свободно распространяемое программное обеспечение. Реализует нейронные сети прямого распространения и некоторые методы обучения.

Использование искусственных нейронных сетей во всех сферах человеческой деятельности, движется по нарастающей. В нефтегазовой отрасли, нейронные сети открывают широкие перспективы. Помимо тех задач, которые уже решаются с использованием этой технологии, появляется возможность прогнозирования технического состояния трубопровода и оборудования на основе имеющихся данных. Это способствовало бы принятию более обоснованных решений, касающихся рационального использования и обслуживания трубопровода и оборудования. Нейронные сети не заменят работу высококвалифицированных специалистов, окончательное решение остается за человеком, но они являются неизбежным развитием современных технологий.

Список литературы

1. Галушкин, А. И. Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин. – Москва : ГЛТ, 2010. – 150 с.
2. Редько, В. Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики / В. Г. Редько. – Москва : Ленанд, 2015. – 100 с.
3. Усков, А. А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. / А. А. Усков, А. В. Кузьмин. – Москва : Горячая линия - Телеком, 2004. – 146 с.
4. Земенкова, М.Ю. Системный анализ и технологический мониторинг надежности и безопасности при транспорте и хранении углеводородов: монография[Текст]/М.Ю.Земенкова - Тюмень: ТИУ, 2017-270 с.
5. Земенкова, М.Ю. Методологическое обеспечение экспертных систем мониторинга показателей надежности объектов трубопроводного транспорта углеводородов: монография[Текст]/М.Ю.Земенкова-Тюмень:ТИУ, 2018–411с.
6. Земенкова, М.Ю. Методы снижения технологических и экологических рисков при транспорте и хранении углеводородов: монография[Текст]/М.Ю.Земенкова – Тюмень: ТИУ, 2019.– 410 с.

7. Гаррис Н.А., Максимова С.А. Регламент эксплуатации магистрального трубопровода при условии сохранности окружающей среды//Нефтяное хозяйство. -1990. - № 1. -С. 63-64.

8. Колоколова Н.А., Гаррис Н.А. О выборе способа прокладки трубопроводов в районах вечной мерзлоты//Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 1. С. 13-17.

9. Гаррис Н. А., Колоколова Н.А. Основные направления ресурсоэнергосбережения при транспорте газа//Нефтегазовое дело: науч.-тех. журн./УГНТУ. 2009. Т. 7, № 1. С. 81-85.

Секция 4. Повышение эффективности освоения Арктической зоны РФ

УДК 006.072

Василега Д.С., Доманина Е.А., Василега Н.А., Зырянова В.А.

Стандартизация как основной фактор интенсификации освоения Арктики

Тюменский индустриальный университет, г.Тюмень

Аннотация: Статья посвящена вопросам анализа деятельности по стандартизации нефтегазовой отрасли Арктической зоны. Рассмотрена деятельность международных и национальных организаций по стандартизации. Проведен анализ разработанных стандартов по годам издания и областям нефтегазовой отрасли.

Abstract: the Article is devoted to the analysis of standardization activities in the oil and gas industry of the Arctic zone. The activity of international and national organizations for standardization is considered. The analysis of the developed standards for the years of publication and areas of the oil and gas industry.

Ключевые слова: Арктика, стандартизация, экология, безопасность, международная организация по стандартизации, европейские стандарты.

Keywords: Arctic, standardization, ecology, safety, international organization for standardization, European standards.

Стандартизация призвана обеспечить развитие добросовестной конкурентоспособности продукции (работ, услуг); выпуск и обращение инновационной и высокотехнологичной продукции; устранение технических барьеров в торговле; повышение уровня безопасности продукции (работ, услуг) и ее качества; защиту жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества; охрану окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений; предупреждение действий, вводящих в заблуждение приобретателей, в том числе потребителей; энергетическую эффективность и ресурсосбережение.[1].

В настоящее время большое внимание уделяется стандартизации в нефтегазовой отрасли, наблюдается нарастание международного интереса к Арктике. Всплеск активности всех участников процесса освоения Арктики стал возможен по следующим причинам, во-первых, по причине появления новых технологических возможностей освоения традиционных видов ресурсов и появления новых видов ресурсов, второй, по значимости причиной является частичное или полное исчерпание ресурсов на более низких широтах, в основном это касается биологических ресурсов, третья – ввиду процессов глобального потепления становится доступной для освоения территория океана, ранее не используемая из-за постоянного ледового покрова. Важным вопросом является, что в настоящее время нет ни одного международного документа, который определял бы стандарты деятельности, обеспечивающие экологическую безопасность арктической зоны.[2].

В связи с тем, что стандартизация в Арктике набирает обороты, есть смысл рассмотреть организации, которые уже занимаются разработкой стандартов для Арктической зоны.

Существуют международные организации, занимающиеся вопросами стандартизации в Арктической зоне, такие как

Arctic Council;

IOGP International Association of Oil and Gas Producers;

IACS - International Association of Classification Societies;

IMO - International Maritime Organization;

ISO - International standardization Organization [3].

Деятельность международных организаций по стандартизации в Арктике нашла отражение в нормативных документах, которые явились результатами многолетних исследований и практики в области освоения Арктической зоны. Был проведен анализ стандартов, разработанных описанными выше организациями, в нефтегазовой отрасли Арктической зоны. Результаты анализа представлены на рис. 1.

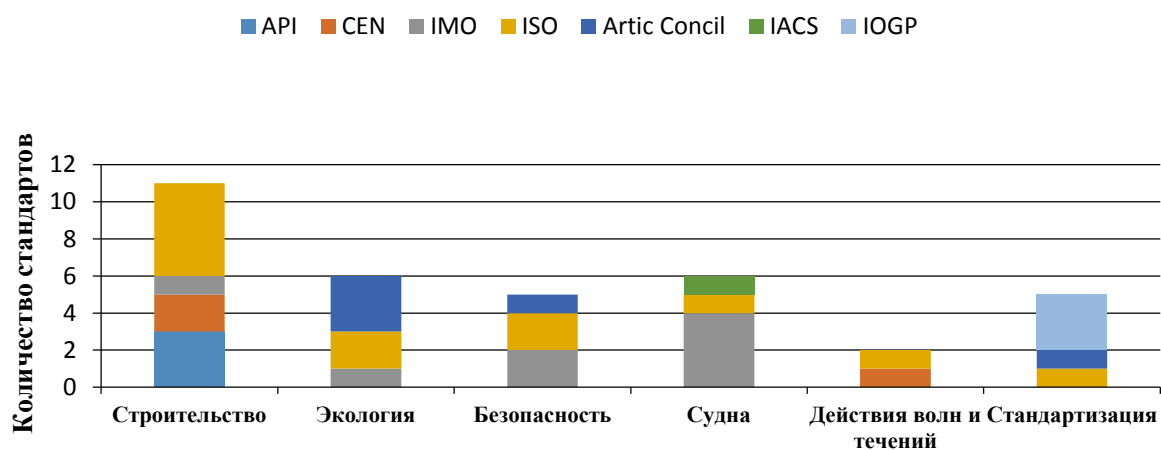


Рис. 1. Количество стандартов разработанных для Арктической зоны в разных областях нефтегазовой отрасли

В результате анализа было установлено, что больше всего, организации по стандартизации интересуют область строительства установок и трубопроводов, данная область составляет 32% разработанных стандартов. Это обусловлено тем, что освоение Арктики вступило в активную фазу и необходимо строительство объектов нефтегазовой отрасли. Интерес к данной области подтверждает и то, что Международная организация по стандартизации ISO, разработала 42% нормативных документов для Арктической зоны именно в области строительства установок и трубопроводов.

Также большое внимание уделяется экологии – 17% разработанных стандартов, безопасности судов – 17% и безопасности работ в Арктической зоне, около 14%.

Проведен анализ нормативных документов, по годам издания, представленный на рис. 2.

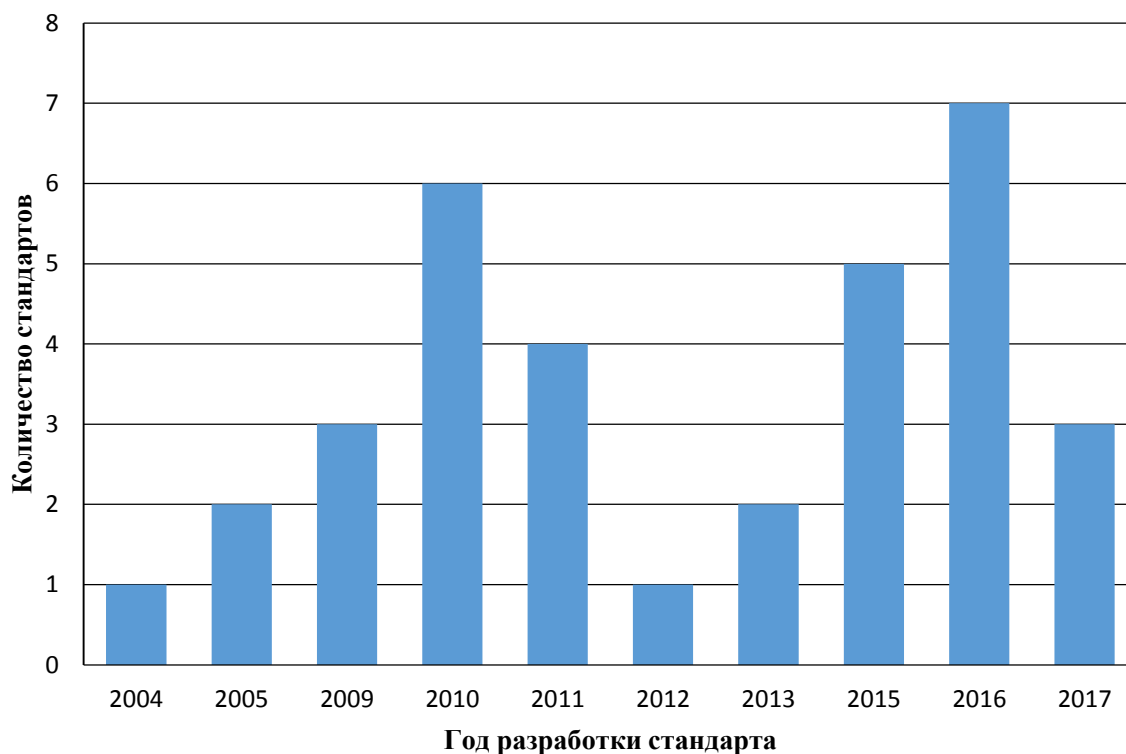


Рис. 2. Количество стандартов разработанных для Арктической зоны по годам

В результате анализа установлено, что в период с 2003-2005 гг. только начинался рост интереса организаций по стандартизации к Арктике, было разработано лишь 15% существующих стандартов. В 2009-2012 гг. - 41% стандартов. И пик интереса к Арктике начинается сейчас, с 2015-2017гг. разработано 44% существующих стандартов.

Таким образом, можно сделать вывод, что интерес к Арктике в дальнейшем будет только увеличиваться и необходимо обеспечить данную область нормативной документацией, которая будет помогать в освоении этого сложного направления нефтегазовой отрасли.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 24 сентября 2012 г. N 1762-р «Концепция национальной стандартизации».
2. Проект национального общественного стандарта «Экологическая безопасность Арктики».
3. Final report on “Standards for the Prevention of Oil Spills from Offshore Oil and Maritime Industry in the Arctic”.

Повышение эффективности работы дизельного двигателя в арктических зонах РФ

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: использование дизельной силовой установки в дорожно-строительной технике положительно влияет на экономию средств на обслуживание, экономию топлива. Так же ведущие производители дорожно-строительной техники делают акцент на использование дизельных установок в связи с особенностью тягово-мощностных характеристик, свойственных дизельным двигателям.

Abstract: the use of diesel power plant in road construction machinery has a positive impact on the cost savings on maintenance fuel economy. Also, the leading manufacturers of road construction machinery make an accent on the use of diesel engines in connection with the feature of traction-power characteristics inherent in diesel engines.

Ключевые слова: дизельная установка, надежность.

Keywords: diesel installation, reliability.

На данный момент в России производятся большие объемы работ, связанные с постройкой, ремонтом и реконструкцией дорог. На ремонт износившихся и строительство новых дорог в России в 2017 году из федерального бюджета выделено 494 миллиарда рублей, по большей части на федеральные трассы — 375 миллиардов (260 миллиардов на ремонт и 115 миллиардов на реконструкцию и прокладку новых), рассказал на пресс-конференции 11 октября глава Росавтодора Роман Старовойт. И добавил, что с учетом низкой плотности сети и «недоремонтов» «хотелось бы больше»: «Общаясь с коллегами в других странах мира, не встретил пока ни одного довольного объемом финансирования: ни в Германии, ни в США, ни в Израиле, ни в Мексике». Так же работы проводятся в сложных климатических условиях. В Арктических зонах РФ производятся работы по освоению данных территорий. Для этого требуется совершенствование техники.

Для того что бы выполнить такой объем работ необходима дорожно-строительная техника. На данный момент подавляющее большинство строительной техники комплектуется дизельными установками.

Вопрос: почему в строительную технику устанавливают дизельный двигатель, а не бензиновый двигатель?

Простота и надежность. Начну с того, что требуется от дизельного двигателя в транспортно-технологических комплексах. Самое главное это простота и надежность. Транспортно-технологические комплексы направлены на выполнение определенных задач, чаще всего узко направленных. Для удешевления пользования такого вида транспорта используют наиболее простую конструкцию двигателя и из этого вытекающее, надежную.[1]

Преимущества и недостатки дизельных двигателей. По сравнению с бензиновыми двигателями, дизели производят гораздо больше крутящего момента на низких оборотах. Вот почему в строительной технике как правило используют дизельные моторы. Благодаря доступному максимальному крутящему моменту на низких оборотах коленчатого вала, дизель способен на низких оборотах брать на себя большую нагрузку.

КПД дизельного двигателя 40-50%, а двигателя с искровым зажиганием 25-30%, расход топлива у дизельного двигателя меньше. То есть для выполнения определенной работы тратится меньшее количество топлива.[2]

Таблица 1

Сравнительная таблица дизельных двигателей

Производитель	Ед.изм.	Nino	Hyundai	MAN	Mercedes
Модель		GD8JLTA-QHR	HD 120 Long	TGL12.250	ATEGO1218L
Маркировка двигателя		7.6TDI	5.9TDI	6.9TDI	4.2TDI
Рабочий объем	куб.см	7684	5899	6871	4198
Мощность	л.с.	260	224	250	177
Крутящий момент	Н·м	794	609	755	504
Полная масса автомобиля	кг	12000	12000	12000	12000
Тип топлива		Дизель	Дизель	Дизель	Дизель

Таблица 2

Сравнительная таблица бензиновых двигателей

Производитель	Ед.изм.	ГАЗ	ЗИЛ	ЛиАЗ
Модель		53	130	677
Маркировка двигателя		ЗМЗ-53	ЗИЛ-130	ЗИЛ-375Я7
Рабочий объем	куб.см	4250	5969	4198
Мощность	л.с.	115	150	177
Крутящий момент	Н·м	294	370	407
Полная масса автомобиля	кг	2800	4500	7800
Тип топлива		Бензин	Бензин	Бензин

Отсюда можно сделать вывод, что большинство сельскохозяйственной, строительной, коммунальной и т.п. техники как правило оснащаются дизельными двигателями.

Дизель, как и другие виды двигателей, имеет и свои недостатки. Его трудно запустить в холодную погоду. Машину следует сначала прогреть, а потом начинать движение. Дизельный агрегат производит много запаха и дыма в сравнении с бензиновым. Хотя выхлопные газы современных моделей содержат небольшой процент окиси углерода, а это значит, что оборудование приносит меньше вреда окружающей среде и при этом повышает экологичность техники. При этом в соответствии с современными нор-

мами и требованиями в каждом дизеле установлена система нейтрализации отработанных газов, которая расположена в устройстве впуска.[1]

Важно правильно подобрать оборудование такого типа для каждого вида спецтехники. Ведь специфика работы, объем ежедневных нагрузок и другие факторы влияют на выбор такого специфического оборудования. Лучше отдать предпочтение продукции проверенных производителей, которая обеспечит длительную и эффективную эксплуатацию специализированной машины.

Бензиновые двигатели, как правило, имеют небольшой крутящий момент по сравнению с дизельными автомобилями. Но бензиновые двигатели имеют всегда больше мощность. Но современные технологии и использование в дизельных двигателях турбин позволило автопроизводителям фактически сравнивать дизельные автомобили по мощности с бензиновыми конкурентами.[2] В итоге в большинстве случаев современные дизельные автомобили стали более предпочтительнее, чем бензиновые аналоги, даже для тех, кто любит мощные модели.

Главные конструктивные особенности. Часто в строительной технике используются дизельные двигатели, большего рабочего объема. Это делается для того что бы при малых оборотах коленчатого вала обеспечить большой крутящий момент, который так необходим для коммерческой техники.[2]

Для примера принимаем средние значения: количество цилиндров-6, рабочий объем двигателя 12000 см³., степень сжатия (бензин) 10 атм., степень сжатия (дизель) 20 атм. При степени сжатия 10 атм. на бензиновом двигателе объем камеры сгорания будет 200 см³, не сложно представить, что главной проблемой станет равномерно воспламенение всей топливной смеси в такой большей камере сгорания. Потребуется как минимум 4 свечи зажигания, что не приемлемо для дорожно-строительной техники, так как конструкция двигателя должна быть наиболее простой. Можно сделать большее количество цилиндров для уменьшения рабочего объема цилиндров, но это также противоречит требованию к простоте конструкции. Если топливная смесь воспламеняется неравномерно, может произойти детонация топливной смеси, что приводит к уменьшению ресурса. Одним из важных показателей является крутящий момент. Этот показатель обуславливает приемистость двигателя на низких оборотах. Во время работы дорожно-строительной техники происходят большие нагрузки на технику, чтобы справиться с ними, требуется большой крутящий момент.

Что касается дизельных двигателей, объем камеры сгорания в 2 раза меньше (из-за степени сжатия), уменьшается расход топлива, отсутствуют свечи зажигания, отсутствует детонация топливной смеси. Нет необходимости достигать относительно высоких оборотов двигателя для достижения высокой отдачи.

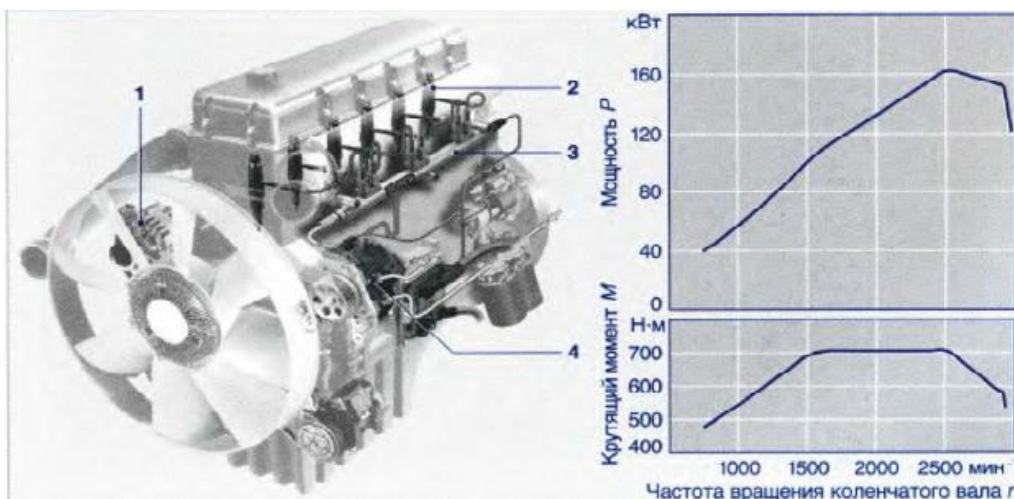


Рис. 1. Пример двигателя одноцилиндрового экскаватора, оснащенного дизельной установкой, системой Common Rail:

1 - генератор, 2 - форсунка, 3 - аккумулятор топлива, 4 - ТНВД

Проблема холодного пуска двигателя, на данный момент остаётся актуальной. Пуск холодного дизеля затрудняется при температуре окружающего воздуха от минус 10°С и ниже по причинам: затрудненного воспламенения топливно-воздушной смеси; повышенного сопротивления проворачиванию коленчатого вала и перемещению других, кинематически с ним связанных деталей (поршни, детали механизма газораспределения; и т.д.) из-за увеличенной вязкости масла; ухудшения условий распыливания топлива; усиленной теплоотдачи в стенки цилиндра. Для двигателей, предназначенных для строительной техники, очень важно работать при любых погодных условиях, для уменьшения времени простоя техники, что экономит большое количество денежных средств.

Список литературы

1. Жосан, А. А., Электронные системы управления работой дизельных двигателей / А. А. Жосан, С. И. Головин, Ю. Н. Рыжов. – Орел : ОрелГАУ, 2013. - 194 с.
2. Хайнз, Г. Бензиновые и дизельные двигатели - устройство и принципы работы / Г. Хайнз, Г. Русс. – Москва : VOGEL, 2013. - 272 с.

УДК 656.13/73.31.41

Голик В.В., Бельский С.Г.

Моделирование температурных режимов подземных трубопроводов в условиях многолетней мерзлоты

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В данной статье рассмотрена проблема влияние теплового поля подземно проложенного трубопровода как основная причина для растепления

вечномерзлых грунтов. Решением является анализ температурного режима за счет математического моделирования теплового взаимодействия. Главным достоинством метода является повышение эффективности теплового расчета и предупреждение рисков протаивания грунта ещё на стадии проектировки трубопровода.

Abstract: This article discusses the problem of the influence of the thermal field of an underground pipeline as the main reason for thawing permafrost. The solution is to analyze the temperature regime due to mathematical modeling of thermal interaction. The main advantage of the method is to increase the efficiency of thermal calculation and prevent the risks of soil thawing even at the pipeline design stage.

Ключевые слова: моделирование теплового взаимодействия, температурный режим трубопровода, вечномерзлые грунты, оттаивание мерзлого грунта.

Keywords: thermal interaction modeling, pipeline temperature conditions, permafrost soils, thawing of frozen soils.

Вечномерзлые, или многолетнемерзлые, грунты широко распространены в северных регионах Российской Федерации. Мерзлыми называются грунты не оттаивающие в течение нескольких десятилетий, обладающие нулевой или отрицательной температурой и содержащие в себе ледяные включения.[3] Прочностные свойства грунтов обусловлены высокой долей льда в них и температурой самого грунта: чем она ниже, тем их прочностные свойства выше.

Область многолетней мерзлоты может простираться на глубину в сотни метров от поверхности, или же быть прерывистой — в виде отдельных линз. Многолетнемерзлый грунт особенно чувствителен к изменениям температурного режима: прокладка подземного трубопровода, являющегося источником тепла, ведет к ряду серьезных проблем, которые дают о себе знать буквально через несколько летних сезонов [2]. Все они связаны с растеплением грунтовых массивов. При растеплении, грунты, в мерзлом состоянии фиксирующие трубопроводы, начинают превращаться в болотную массу, что приводит к поперечному смещению и деформациям трубопроводов, и как следствие, авариям с прорывом перекачиваемой среды. Так же необходимо учитывать, что температурный режим трубопровода влияет на здания и сооружения располагающиеся вблизи. Опыт строительства на вечномерзлых грунтах показывает, что классические технические решения непригодны и даже расточительны в финансовом отношении, очевидна необходимость разработки и применения новых технических решений с учетом долгосрочных прогнозов и управлению температурным режимом грунтов оснований, способных компенсировать отрицательное воздействие потепления для существующих, строящихся и проектируемых сооружений.[1]

Математическая модель на базе Excel VBA позволяет воссоздать температурный режим подземного трубопровода, проложенного в вечномерзлых грунтах. Visual Basic for Applications (VBA) — упрощенная реализация языка программирования Visual Basic, встроенная в линейку продуктов Microsoft Office. VBA покрывает и расширяет

функциональность ранее использовавшихся специализированных макро-языков, таких как WordBasic. VBA является интерпретируемым языком. Как и следует из его названия, VBA близок к Visual Basic. VBA, будучи языком, построенным на COM, позволяет использовать все доступные в операционной системе COM объекты и компоненты ActiveX.

На примере решения задачи, рассмотрим принцип её работы. Тепловое взаимодействие трубопровода представляется в виде таблицы, схематично отражающую положение трубопровода в грунте (рис. 1). Граничными условиями будет являться постоянная температура грунта $t_{гр}$, пусть она равная — 4 °С. Температуру на поверхности грунта ставится произвольно. В центре размещается трубопровод и обозначается температура стенки трубы, расчетное поле задается за счет расчетной температуры ячейки через индексы i и j , а также, необходимые для расчета, постоянные времени, шага по времени и шага по координате. задается расчетная температура ячейки, а также, необходимые для расчета постоянные времени, шага по времени и шага по координате.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35	-23,35
2	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
3	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
4	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
5	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
6	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
7	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
8	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
9	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	2,50	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
10	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	2,50	2,50	2,50	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
11	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	2,50	0,00	0,00	0,00	2,50	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
12	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	2,50	2,50	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
13	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	2,50	0,00	0,00	0,00	2,50	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
14	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	2,50	2,50	2,50	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
15	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	2,50	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
16	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
17	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
18	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
19	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00
20	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00

Рис. 1. Схематичное отображение залегания трубопровода в грунте

С помощью уравнения теплового потока производится расчет температурного поля. Далее создается условие выбора теплофизических параметров мерзлого и талого грунта. Основным критерием является достижение грунтом температуры фазового перехода, при которой мерзлый грунт переходит в талый, и наоборот. Условие определяет как будет рассчитываться поток тепла, в случае если грунт мерзлый и в случае, если он талый.

Для повышения точности расчета выполняется аппроксимация функции смены температуры на поверхности грунта, при помощи

специальным программным обеспечением MATLAB. Задав два вектора представляющие собой время и температуру.

В таблице 1 представлена средняя месячная температура воздуха по данным метеостанции WMO ID 23256 Тазовского района.

Таблица 1

Средняя месячная температура окружающего воздуха в °С.

янв. 2017	фев. 2017	март 2017	апр. 2017	май 2017	июнь 2017	июль 2017	авг. 2017	сент. 2017	окт. 2017	нояб. 2017	дек. 2017	янв. 2018
-25,6	-23,3	-7,1	-12,5	-5,2	9,8	10	15,7	3,3	-3	-15,8	-12,9	-22,5

Далее, векторам времени и температуры задается функция синуса, которая имея циклический характер, позволяет отслеживать температуру за рамками одного года. Полученный результат представлен на рис. 2.

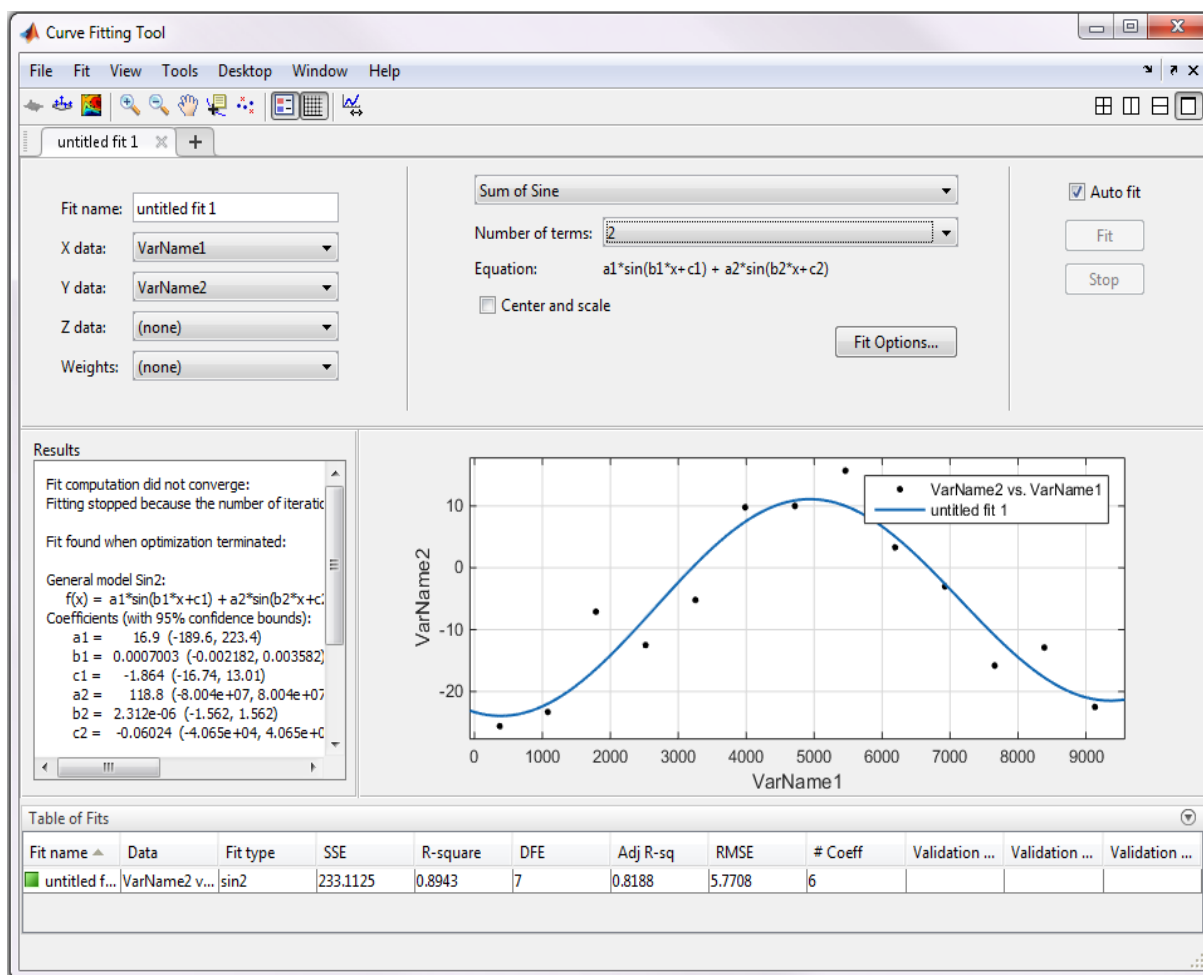


Рис. 2. Аппроксимация функции температуры окружающей среды в MATLAB

Полученная модель симулирует тепловые процессы в системе «горячий» трубопровод – грунт. Для удобства ввода теплофизических характеристик и параметров системы, а также для увеличения скорости расчета, интегрируем полученную модель в интерфейс Visual Basic (рис. 3).

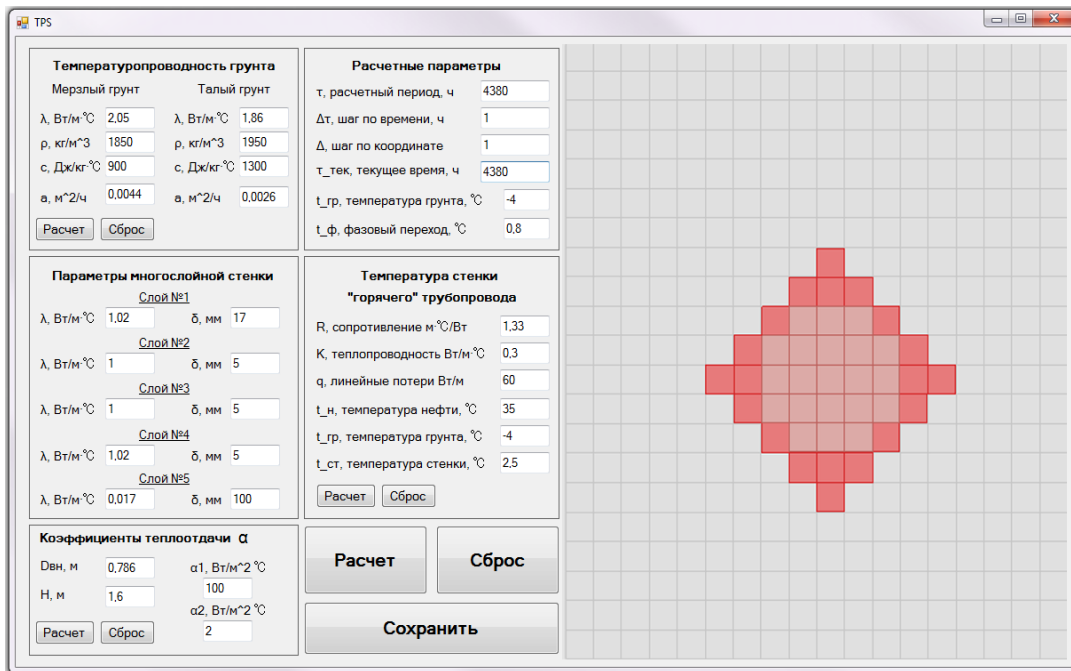


Рис. 3. Ввод начальных условий в интерфейс программ

Наконец, в полученном интерфейсе задаем тепловые и физические параметры перекачиваемого продукта и грунта, окончательный период и определяем температурное поле вокруг «горячего» трубопровода (рис. 4).

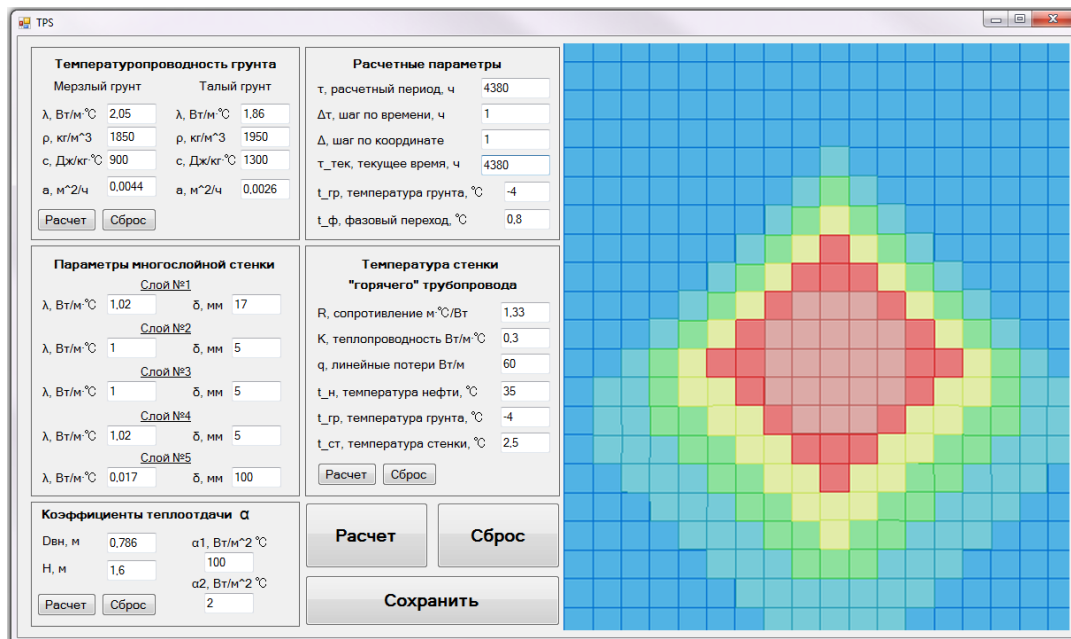


Рис. 4. Вывод полученных расчетных значений и визуализация процесса растепления грунта и образования температурного поля

Таким образом, имея температурные характеристики грунта и перекачиваемой среды, система моделирования позволяет не только наглядно представить процесс теплообмена в система трубопровод-грунт, но и внести корректировки в сам процесс транспортировки

перекачиваемой среды ещё на стадии проекта. Математический анализ температурного режима трубопровода позволяет обезопасить процесс эксплуатации трубопроводов в районах вечной мерзлоты.

Список литературы

1. Колоколова, Н. А. О выборе способа прокладки трубопроводов в районах вечной мерзлоты / Н. А. Колоколова, Н. А. Гаррис // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 2013. - №1. – С. 13-14.
2. Трофимова, О. О. Деформации при устройстве фундаментов на вечномёрзлых грунтах / О. О. Трофимова, Г. Н. Рязанова // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. - 2017. - № 6(24). – С. 27-38.
3. Размазин, Г. А. Тепловое взаимодействие бесканальной прокладки теплопроводов с вечномёрзлыми грунтам. Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экологии городов / Г. А. Размазин, Б. В. Моисеев // Материалы I Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2000. – С. 106-110.
4. Горелик Я.Б., Шабаров А.Б., Сысоев Ю.С. Динамика протаивания мерзлых пород в зоне влияния двух скважин//Криосфера Земли. -2008. -Т. XII. -№ 1. -С. 59-65.
5. Григорьев Б.В., Шабаров А.Б. Экспериментальное исследование промерзания-оттаивания грунтов в неравновесных условиях//Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 4. С. 53-60.
6. Колоколова Н.А., Гаррис Н.А. О выборе способа прокладки трубопроводов в районах вечной мерзлоты//Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 1. С. 13-17.
7. Гаррис Н.А., Аскарлов Г. Р. Причина коррозионной активности грунтоввокруг газопроводов большого диаметра//Материалы Новоселовских чтений.(Сб. науч. тр. Вып. 2). -Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. -С. 161-167.

УДК 504.054

Калимуллина Д.С., Артёмов А.Ю., Сыч К.М., Парфёнов А.А.

Различные факторы риска и их последствия во время морских операций

Омский государственный технический университет, г. Омск

Аннотация: в данной статье описаны различные факторы риска нефтепродукта во время морских операций. Основная цель этой главы заключается в том, чтобы обрисовать вопросы безопасности во время морских операций, в частности безопасности при транспортировке нефти и газа. Соответственно, описываются различные стратегии внедрения наилучших методов охраны окружающей среды, здоровья и безопасности.

Abstract: this article describes the various risk factors of petroleum products during offshore operations. The main aim of this chapter is to outline safety during marine operations, in particular safety during oil and gas transfer. Accordingly, various strategies to implement best environmental, health, and safety practices are described.

Ключевые слова: безопасность, токсичность, реактивность, загрязнение, нефть.
Keywords: safety, toxicity, reactivity, pollution, oil.

Сырая нефть представляет собой сложную смесь различных химических соединений, которые широко известны как углеводороды. Смесь может также содержать следы серы, азота, ванадия и кислорода. Сырая нефть легко воспламеняется, а ее газы могут быть взрывоопасными. Сырая нефть обычно подразделяется на три категории: асфальтовая, парафиновая или смешанная. Асфальтобетонные крошки содержат мало парафина и часто содержат много серы, азота и кислорода, они используются для производства бензинов и, конечно же, асфальта. На основе парафина грубые материалы имеют высокое содержание парафина и могут быть переработаны в моторное топливо, смазочные масла и керосин. Смешанные грубые материалы содержат некоторое количество парафина и асфальта и могут быть переработаны практически в любой продукт, но в меньших количествах.

Существует ряд основных факторов, связанных с транспортировкой нефти:

1) Ядовитость/ токсичность

Для оценки токсичности необходима информация о воздействии вещества на биологические системы, а также данные о дозировке, форме и продолжительности воздействия.

Способы попадания токсичности в тело:

1) Инъекция – это наименее распространенная и приводит к колотым ранам (от преднамеренного или случайного введения). Он характеризуется доставкой токсина глубоко в организм: в мышцы, жировую ткань или сосудистую систему. Во всех случаях обращаться за медицинской помощью.

2) Поглощение – это наиболее распространенный, хотя и не обязательно самый серьезный путь проникновения. Кожа формирует барьер к входу большинства материалов, но местные реакции (сыпи, дерматит, опухоли, карциномы кожи) могут произойти. Скорость поглощения зависит от растворимости материала (в жире или воде), температуры, влажности и давления.

3) Заглатывание – это также как устная абсорбция. При условии надлежащей гигиены на рабочем месте этого никогда не должно произойти. Материал всасывается по всей длине желудочно-кишечного тракта, а свойства вещества зависят от того, абсорбция происходит в желудке или кишечнике. Наличие пищи не всегда является защитой. Ставки зависят от времени суток, физической формы вещества и физиологии вовлеченного лица.

4) Ингаляция – самый обычный маршрут, и то, с наибольшим эффектом. Доза зависит от физико-химических свойств вещества, концентрации в легких, длительности воздействия и индивидуальной вентиляции. Как правило, есть проблемы в том, что, чем меньше частица, тем дальше она уходит. Физическая подготовка также играет свою роль. Чем хуже функция легких, тем хуже очищение. Например, легкие, перегруженные от курения сигарет, далеко не так эффективны, как легкие некурящего. Сама

природа легких, высокоэффективный механизм газообмена, означает, что скорость поглощения очень высока. [1]

2) Реактивность

Реактивные грузы никогда не должны соприкасаться друг с другом, поскольку полученная химическая реакция может оказаться опасной для судна. Этот контакт может также привести к загрязнению обоих грузов и стать неприемлемым для грузополучателя. Существует несколько видов реактивных грузов. Они могут быть самореактивными, реагировать с воздухом, реагировать с другими грузами или реагировать с водой. Эта реакция может привести к любой из следующих реакций или их комбинации:

- 1) тепло;
- 2) выпустить пар;
- 3) повышение давления в резервуаре;
- 4) влияет на качество груза;
- 5) увеличение опасности пожара или взрыва;
- 6) повышение опасности для здоровья;
- 7) полимеризация. [2]

Эти грузы должны тщательно контролироваться на предмет повышения температуры, которая может указывать на реакцию.

3) Загрязнение

Основное воздействие разлитой нефти на местную морскую флору и фауну будет зависеть от многих факторов разлива:

- 1) тип жидкости и место разлива;
- 2) виды морских обитателей в районе;
- 3) сроки циклов размножения и миграции;
- 4) погода во время разлива.

Легкие масла, которые не задерживаются в окружающей среде из-за их быстрого испарения, гораздо более ядовиты, чем черные масла, и поэтому в основном отравляют морскую жизнь. Это отравление может повлиять на животное непосредственно через вдыхание, поглощение или проглатывание, или оно может повлиять на тех, кто выше в пищевой цепи, которые, в свою очередь, полагаются на тех, кто ниже их для пропитания. Последствия отравления могут включать в себя болезнь животного, повреждение или раздражение глаз, носа и внутренних органов, а также уменьшение толщины или размера яиц. Предполагается, что незаконный сброс нефти проходящими судами приводит к ранению или смерти до 350 пингвинов ежегодно на острове Филлип. Когда нефть попадает в море, она начинает меняться, поскольку на разлив действуют разные, а иногда и конкурентные силы. Существует ряд процессов, через которые может пройти масло, которые могут повлиять на его продолжительность и влияние:

- 1) распространение;
- 2) движения/смещения;
- 3) испарение;

- 4) растворение;
- 5) дисперсия;
- 6) эмульгирование;
- 7) осаждение;
- 8) биологическое разложение;
- 9) окисление.

От нефтяного загрязнения страдает не только морская фауна, но и окружающие ее жители, особенно те, кто живет за счет океана. Примерами могут служить морские курорты, чартерные суда и туроператоры по дайвингу, а местные рыбопромысловые отрасли также могут пострадать, поскольку рыбаки обнаруживают, что их улов либо загрязнен, либо значительно сокращен. [3]

Морской транспорт по-прежнему является доминирующим видом транспорта на различные товары, включая такие товары, как нефть и газ. Следовательно, правила безопасности очень важны для репутации нефтяной и газовой промышленности. Поскольку нефть и газ являются летучими и токсичными, во время морской операции существуют различные факторы риска. В дополнение к существующей практике обеспечения безопасности в этой главе излагаются меры по смягчению различных факторов риска.

Список литературы

1. Sankaramoorthy Narayanasamy Safety During Oil and Gas Transfer and Transport / Fan Yang [et al] // National Centre for Ports and Shipping, Australian Maritime College, University of Tasmania, Launceston, TAS, Australia, 2018. – pp. 169-205.
2. Ventikos, N. P. Spill accident modeling: A critical survey of the event-decision network in the context of IMO's formal safety assessment / N. P. Ventikos, H. N. Psaraftis // Journal of Hazardous Materials, 2004. – pp. 59–66.
3. Seyr, H. Safety indicators for the marine operations in the installation and operating phase of an offshore wind farm / H. Seyr, M. Muskulus // Energy Procedia, 2016. – pp. 72–81.

УДК 656.13/73.31.41

Лисовская И.В.

Повышение эффективности освоения Арктической зоны РФ

Омский государственный технический университет, г. Омск

Аннотация: В статье рассмотрены условия современного мира, разработка грамотной стратегии развития Арктического шельфа России, который создаст условия для выхода на новый качественный путь развития науки и экономики, а также позволит стране выйти на высокие показатели по добыче ископаемого ресурса. Выведено заключение о том, что разработка Арктического шельфа – является приоритетным направлением нефтегазовой отрасли на ближайшие 5 лет.

Annotation: The article discusses the conditions of the modern world, the development of a competent strategy for the development of the Arctic shelf of Russia, which will create conditions for reaching a new qualitative path of development of science and economics, as well as allow the country to achieve high rates of fossil resource extraction. The conclusion was drawn that the development of the Arctic shelf is a priority for the oil and gas industry for the next 5 years.

Ключевые слова: Ресурсы, стратегия, наука, нефтегазовая отрасль, инновации, перспектива.

Keywords: Resources, strategy, science, oil and gas industry, innovation, perspective.

Несмотря на развитие альтернативных видов энергии, нефте- и газопродукты остаются важнейшим ресурсом на планете. Углеводородное сырье применяется для изготовления топлива моторного и турбинного, смазочных материалов, растворителей, пластмассы, красителей, присадок и других продуктов. Одной из важнейших площадок по обеспечению Российской Федерации этим сырьем, является Арктическая зона. [1]

Арктическая зона РФ (АЗРФ) – это северная оконечность Европейской и Азиатской частей РФ, расположена вдоль побережья морей Северного Ледовитого океана: Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. В настоящее время Арктическая зона России обеспечивает около 11% национального дохода России, при том, что там проживает только 1,95 млн. чел. - около 1,4% населения всей страны.

Арктическая зона РФ, по оценке Минприроды, содержит начальные извлекаемые суммарные ресурсы в размере 258 миллиардов тонн условного топлива, что составляет 60% всех ресурсов углеводородов страны. Разведанные запасы нефти в российской Арктике составляют 7,7 миллиардов тонн, газа — 67 миллиардов кубометров, сообщил РИА Новости представитель Минприроды. При этом еще предстоит разведать более 90% арктического шельфа и 53% территории на суше.

Основная часть разведанных запасов находится на суше, в пределах двух автономных округов: Ямало-Ненецкого — 4,938 миллиарда тонн (Западно-Сибирская НГП) и Ненецкого — 1,057 миллиарда тонн (Тимано-Печорская НГП). По данным Минприроды, геологоразведочные работы в российской Арктике сейчас ведутся на 75 лицензионных участках, а до 2020 года компании должны пробурить 36 поисковых и 15 разведочных скважин.

Запасы категории АВС1+С2 находится на суше, в пределах двух автономных округов: Ямало-Ненецкого — 4,938 миллиарда тонн (Западно-Сибирская НГП) и Ненецкого — 1,057 миллиарда тонн (Тимано-Печорская НГП). По данным Минприроды, геологоразведочные работы в российской Арктике сейчас ведутся на 75 лицензионных участках, а до 2020 года компании должны пробурить 36 поисковых и 15 разведочных скважин.

На базе результатов проведенных исследований, была прописана стратегия развития Арктической зоны РФ. Стратегия предусматривает три этапа,

расписанных вплоть до 2025 года. Первые два этапа напрямую связаны с добычей и реализацией ископаемого ресурса. Их мы и рассмотрим.[1]

Первый этап стратегического развития

Основными механизмами реализации стратегии являются:

а) государственная программа социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года;

б) иные государственные программы Российской Федерации, федеральные и ведомственные целевые программы, а также отраслевые стратегии, региональные и муниципальные программы, программы крупных компаний, предусматривающие мероприятия, направленные на комплексное развитие территории Арктической зоны Российской Федерации. [2]

Избранные механизмы реализации выделяют несколько целей, среди которых:

а) эффективное использование и развитие ресурсной базы Арктической зоны Российской Федерации, способной в значительной степени обеспечить потребности России в углеводородных ресурсах, водных биологических ресурсах и других видах стратегического сырья.

б) Развитие науки и технологий.

Для эффективного использования и развития ресурсной базы РФ предусматриваются:

а) формирование проектов организации комплексного изучения континентального шельфа и прибрежных территорий, подготовка запасов углеводородного сырья к их освоению на основе государственной программы разведки континентального шельфа и освоения его минеральных ресурсов, обеспечивающей существенный прирост балансовых запасов полезных ископаемых арктических морских месторождений;

б) формирование резервного фонда месторождений в Арктической зоне Российской Федерации, который даст гарантию энергетической безопасности страны и создаст устойчивый фундамент для развития топливно-энергетического комплекса в долгосрочной перспективе, в период замещения падающей добычи в районах традиционного освоения после 2020 года;

в) организация в целях обеспечения в средне- и долгосрочной перспективе внутренних и экспортных потребностей Российской Федерации на основе крупных инвестиционных проектов с использованием современных технологий и сервисных услуг;

г) реализация крупных инфраструктурных проектов, предусматривающих интеграцию Арктической зоны Российской Федерации с освоенными районами России, освоение Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и месторождений углеводородов на континентальном шельфе Баренцева, Печорского и Карского морей, полуостровов Ямал и Гыдан;

д) развитие в целях обеспечения проектов освоения месторождений углеводородов на континентальном шельфе Российской Федерации наукоемкого морского сервисного комплекса;

е) повышение качества и конкурентоспособности продукции горно-промышленного комплекса, освоение новых перспективных месторождений, создание новых перерабатывающих производств на принципах комплексного использования минерального сырья и внедрения современных энергосберегающих технологий;

В целях развития науки и технологий предусматриваются:

а) объединение ресурсов и возможностей государства, бизнеса, науки и образования для формирования конкурентоспособного научно-технологического сектора в области разработки и внедрения передовых технологий;

б) разработка материалов, адаптированных к природно-климатическим условиям Арктики, а также внедрение технических средств и приборной базы, адаптированных к проведению полярных научных исследований;

в) разработка и внедрение новых видов техники и технологий в области рационального природопользования, а также предотвращения и ликвидации аварийных разливов нефти в ледовых условиях;

г) научное обоснование долгосрочных перспектив и основных направлений развития различных видов деятельности в Арктике;

д) проведение комплексных научных исследований по изучению опасных природных явлений, разработка и внедрение современных технологий и методов их прогнозирования в условиях меняющегося климата;

е) прогноз и оценка последствий глобальных климатических изменений, происходящих в Арктической зоне Российской Федерации под влиянием естественных и антропогенных факторов, в среднесрочной и долгосрочной перспективе, включая повышение устойчивости, объектов инфраструктуры;

ж) изучение влияния на здоровье населения вредных факторов окружающей среды, научное обоснование комплекса мероприятий, направленных на оздоровление среды обитания населения и профилактику заболеваний;

з) развитие экспедиционной деятельности в целях реализации крупномасштабных и комплексных научных проектов в Арктике, в том числе в рамках международного сотрудничества;

и) использование возможностей международного научного и научно-технического сотрудничества, обеспечение участия российских научных и научно-образовательных организаций в глобальных и региональных технологических и исследовательских проектах в Арктике.[4]

Этапы, прописанные выше, находятся в стадии реализации. Они являются мощным фундаментом для развития Арктической зоны РФ и позволяют перейти к практической части проекта «Арктика».

Благодаря инновационным технологиям, применяемым для реализации этого проекта, повышается конкурентоспособность РФ со странами-лидерами нефтегазовой промышленности. Также, немаловажную роль эти технологии играют в приспособлении к природно-климатическим услови-

ям Арктической зоны. Всё выше перечисленное по итогу программы развития должно вывести нефтегазовую промышленность на качественно новый уровень.

Второй этап. Реализация стратегии развития Арктической зоны РФ

Практическая часть реализации стратегии развития Арктической зоны РФ предусматривает следующие направления работы:

а) реализация конкурентных преимуществ Российской Федерации в области освоения минерально-сырьевых ресурсов континентального шельфа Российской Федерации в Арктике;

б) развитие системы комплексной безопасности для защиты территорий, населения и критически важных объектов Арктической зоны Российской Федерации от угроз чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

в) развитие инфраструктуры Северного морского пути и флота, в том числе ледокольного, для решения задач транспортного обеспечения арктических районов, а также евразийского транзита;

г) реализация комплекса мер по обеспечению долгосрочного не истощительного использования водных биологических ресурсов Арктической зоны Российской Федерации, включая повышение эффективности использования потенциала водных биологических ресурсов арктических морей;

д) снижение и предотвращение негативного воздействия на окружающую среду Арктической зоны Российской Федерации.

По итогам завершения проекта ожидаются качественные, и количественные результаты выполненной работы. К качественным результатам относятся развитая инфраструктура Арктической зоны, появление наукоемких технологий и выход страны на первое место в рейтинге стран занимающейся добычей нефтегазового сырья, а к количественным - увеличение объемов добываемого сырья. [2]

Так же на базе ОмГТУ было создано устройство для разжижения нефтяных шламов, возможно необходимое Арктическому шельфу при высокой температуре для более легкой транспортировке нефти.

Устройство для разжижения нефтяных шламов внутри резервуаров и закрытых емкостях СВЧ полем

Изобретение относится к области технологии разжижения нефтяных шламов внутри резервуаров и закрытых емкостях СВЧ полем очистки нефтяных отходов в резервуарах и может быть использовано на производствах нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Известно устройство для микроволновой обработки водонефтяной эмульсии, транспортируемой по трубопроводу (патент RU №2440169 МПК В01D 17/06, опубл. 20.01.2012г.).

Экспериментально установлено, что повышение качества разжижения нефтяных шламов внутри резервуаров и закрытых емкостях СВЧ полем достигается за счет того, «СВЧ-излучатель» выполнен в виде скрещи-

вающихся рамок из проволоки с высоким удельным сопротивлением по ГОСТ 12766.1-90, например, таких как нихромовая, благодаря чему СВЧ-излучатель одновременно выполняет роль и излучателя и нагревательного элемента и предназначен для предварительного разжижения нефтяных шламов внутри резервуаров и закрытых емкостях СВЧ полем, причем максимальный эффект разжижения достигается при радиальном размере скрещивающихся рамок не менее четверти длины волны СВЧ поля, и высоте рамок порядка 0,125 длины волны, что обеспечивает согласованный режим работы генератора.

Таким образом предложенное техническое решение позволяет осуществлять разогрев, очистку и утилизацию нефтяных отходов в резервуарах для нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности за счет бесконтактного объемного прогрева, для дальнейшей откачки насосами, с использованием объемной сверхвысокочастотной обработки для обеспечения объемного равномерного прогрева среды нефтяных шламов СВЧ электромагнитным полем, образованным одним или рядом несинхронизированных СВЧ излучателей, что приводит к меньшим энергетическим и временным затратам.

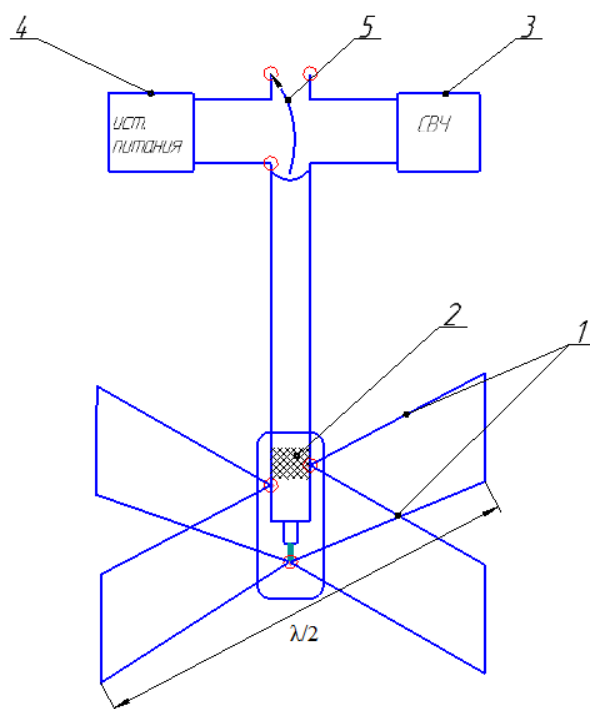


Рис. 1. Устройство для разжижения нефтяных шламов внутри резервуаров и закрытых емкостях СВЧ полем

Устройство для разжижения нефтяных шламов внутри резервуаров и закрытых емкостях содержит «СВЧ – излучатель» с коаксиальным кабелем, подключённым одним концом к «СВЧ генератору», находящемуся снаружи резервуара и предназначенному для подачи тока высокой частоты дециметрового диапазона на «СВЧ-излучатель», а другим концом к источ-

нику питания, отличающееся тем, что «СВЧ-излучатель» выполнен в виде скрещивающихся рамок из проволоки с высоким удельным сопротивлением, благодаря чему СВЧ-излучатель одновременно выполняет роль и излучателя и нагревательного элемента, и предназначен для предварительного разжижения нефтешламов с целью ускоренного погружения СВЧ-излучателя в шлам, причем радиальный размер скрещивающихся рамок должен быть не менее четверти длины волны СВЧ поля, а высота рамок порядка 0,125 длины волны, для эффективного излучения энергии.

Заключение

Развитие Арктической зоны на данный момент является перспективным направлением в области добычи углеводородного сырья, так как эта территория является стратегическим важным объектом для Российской Федерации. На долю Арктической зоны выпадает 60% природного ресурса России, 90% из которых еще не исследованы. Освоение этих территории дает стране гарантию стабильности в области топливно-энергетического сектора.

Исходя из понимания взаимосвязи всех элементов жизнедеятельности человека, можно так же обозначить важность развития Арктической зоны, как социально-экономической единицы РФ и выявить положительные качественные изменения в этой сфере. С развитием АЗРФ повысится качество и уровень жизни населения страны и в частности регионов, находящихся на Арктическом шельфе.

Список литературы

1. Серикова, У. С. История освоения Арктики / У. С. Серикова // История и педагогика естествознания. – Липецк, 2016. - №4. - С. 35-40.

2. Квасов, И. Н. Транспортный комплекс для нефти и нефтепродуктов. Способы и их анализ. Перспективные направления развития трубопроводного транспорта России / А. К. Мусайбекова, Ю. В. Непойранова, И. Н. Квасов // Проблемы и перспективы развития менеджмента в России: материалы V Международной научно-практической конференции. – Омск, 2017. – С. 136-145.

3. Конторович, А. Э. Нефть и газ российской Арктики: история освоения в XX веке, ресурсы, стратегия на XXI век / А. Э. Конторович // Наука из первых рук. - 2015. - №61 (1). - С.46-65.

Постановление Правительства РФ от 31 августа 2017 г. N 1064 "О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2014 г. N 366".

Секция 5. Машиностроительные технологии, стандартизация и управление качеством транспорта углеводородных ресурсов

УДК 621.91.02

Артамонов Е.В., Помигалова Т.Е., Шкуркин Д.А.

Управление напряженно-деформированным состоянием и прочностью сменных многогранных пластин сборных инструментов при проектировании и эксплуатации

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Приведен алгоритм выбора и расчета СМП сборных инструментов, в котором реализуется принцип выбора пластин на основе расчета их напряженно-деформированного состояния с применением метода конечных элементов.

Abstract: The algorithm for selecting and calculating the SMP of prefabricated tools is presented, which implements the principle of plate selection based on the calculation of their stress-strain state using the finite element method.

Ключевые слова: Напряженно-деформированное состояние, прочность, работоспособность, сменные многогранные пластины, твердый сплав, сборные режущие инструменты.

Keywords: Stress-strain state, strength, performance, interchangeable multi-faceted plates, carbide, prefabricated cutting tools.

Целью работы является повышение работоспособности сборных инструментов со сменными многогранными пластинами (СМП) для обработки деталей газотурбинных двигателей, применяемых для привода газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Практика эксплуатации сборных режущих инструментов показывает, что его работоспособность во многом определяется инструментальным материалом, способом базирования и крепления СМП, ее формой и типом, режимами резания.

Анализ статистики и видов разрушений СМП в сборном режущем инструменте в производственных условиях по материалам Тюменского моторного завода показал, что на долю отказов в результате поломки, скалывания и выкрашивания пластин приходится 70% для 5^и-гранных СМП по ГОСТ 19064-80 и 75% для 3^х-гранных СМП по ГОСТ 19075-80 (рис. 1). Доля СМП, выходящих из строя в результате поломок, достигает до 40 % (рис. 1).

Специалисты совместного предприятия SANDVIK – МКТС, г.Москва провели анализ характера и причин износа и разрушения режущих пластин при точении и фрезеровании [4]. На основании этих исследований, основными причинами, определяющими характер разрушения и износа СМП из инструментальных твердых сплавов, являются:

- 1) высокие силовые и температурные нагрузки,
- 2) недостаточная износостойкость и прочность твердого сплава,
- 3) неоптимальные геометрические и конструктивные параметры.

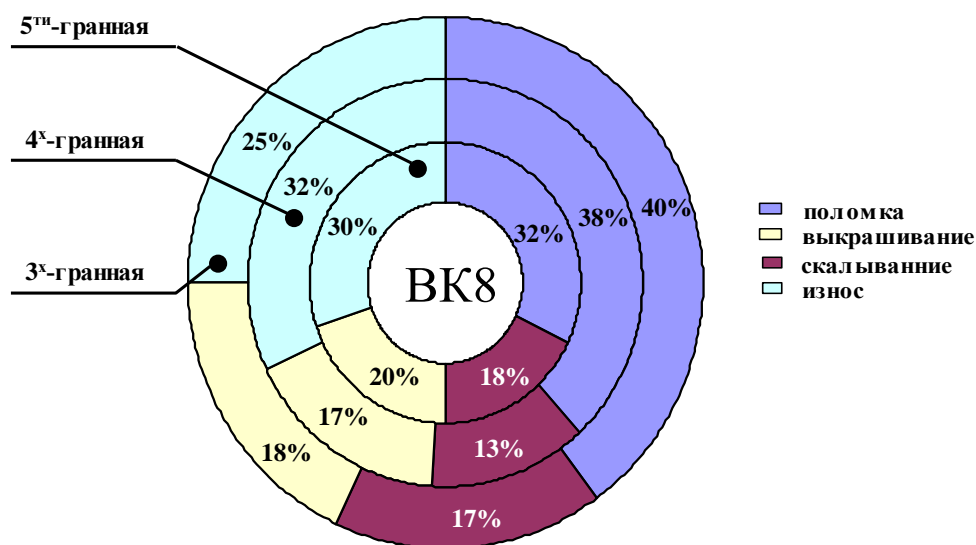


Рис. 1. Диаграмма отказов СМП [4]

Таким образом, анализ видов разрушений СМП обуславливает необходимость определения напряженно – деформированного состояния и прочности, заключающейся, прежде всего, в изучении распределения опасных напряжений, приводящих к разрушению. Исследованию напряженного состояния режущего клина посвящено много работ, однако в этих работах не нашли отражение особенности геометрии и нагружения СМП.

Для исследования напряженно-деформированного состояния СМП в плоскости пластины были определены главные напряжения σ_1 и σ_2 ($\sigma_3 = 0$) для широко применяемых пластин:

- разных форм (равносторонних трехгранных, ромбических, квадратных, пятигранных, круглых);
- разных типов (без отверстия, с отверстием);
- разных линейных размеров (длины, толщины);
- при разных схемах базирования и крепления (при базировании в угловой паз и креплении пластин без отверстий - прихватом сверху, пластин с отверстиями - рычажным механизмом; при базировании на штифт и креплении клиновым механизмом);
- при разном направлении равнодействующей силы резания R_{xy} .

Анализ полученных картин изолиний главных напряжений показал, что опасными напряжениями, имеющими максимальные значения, для всех рассматриваемых вариантов СМП являются напряжения растяжения σ_{1max} на главной режущей кромке и сжатия σ_{2max} на вспомогательной режущей кромке. На рис. 2 показано напряженно-деформированное состояние СМП по ГОСТ 19043-80, ГОСТ 19049-80, ГОСТ 19056-80. Причины

возникновения максимальных главных напряжений на режущих кромках пластин можно объяснить характером деформирования конструкции СМП.

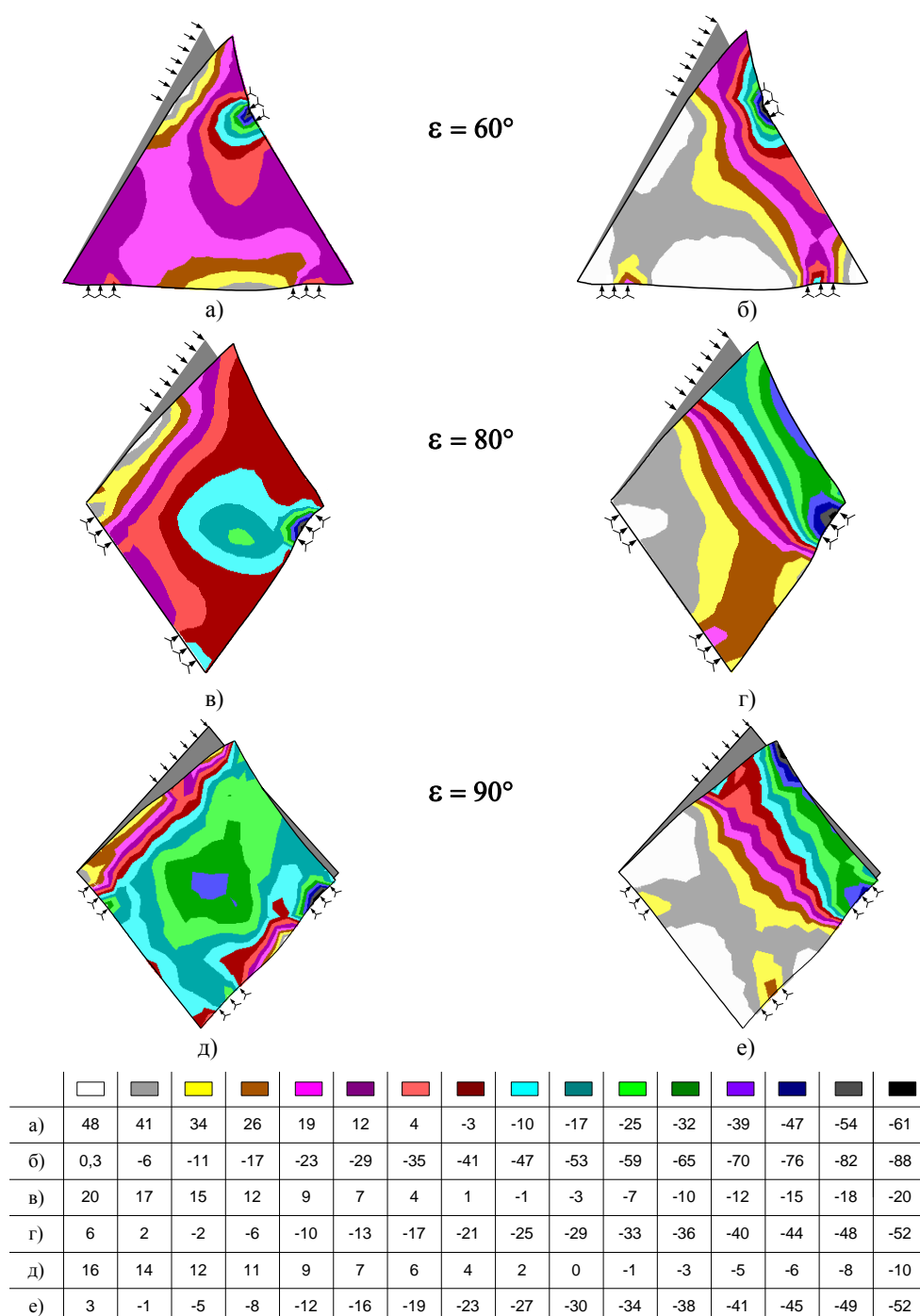


Рис. 2. Картины изолиний главных напряжений σ_1 и σ_2 в СМП разных форм [4]:
а, в, д - σ_1 ; б, г, е - σ_2 ; (перемещения увеличены в 3000 раз)

Зоны максимальных растягивающих напряжений, опасных для СМП из твердых сплавов, расположены на одинаковом расстоянии от вершины, равном $1/4 \div 1/5$ длины пластины.

На основании этого, все эпюры распределения главных напряжений σ_1 строились для главной режущей кромки, а σ_2 – для вспомогательной ре-

жущей кромки исследуемых СМП, как наиболее опасно напряженных. Для универсальности использования полученных результатов и удобства их анализа величины напряжений откладывались в процентах от приложенной нагрузки (Рис. 3).

Анализ эпюр распределения напряжений σ_1 и σ_2 показал, что с увеличением угла ε при вершине СМП напряжения растяжения σ_1 на главной режущей кромке (рис. 3) и сжатия σ_2 на вспомогательной режущей кромке уменьшаются. Так величины опасных напряжений σ_{1max} у трехгранной пластины больше, чем у круглой примерно в 5 раз.

Таким образом, формы пластин оказывают существенное влияние на распределение напряжений в СМП и их прочность.

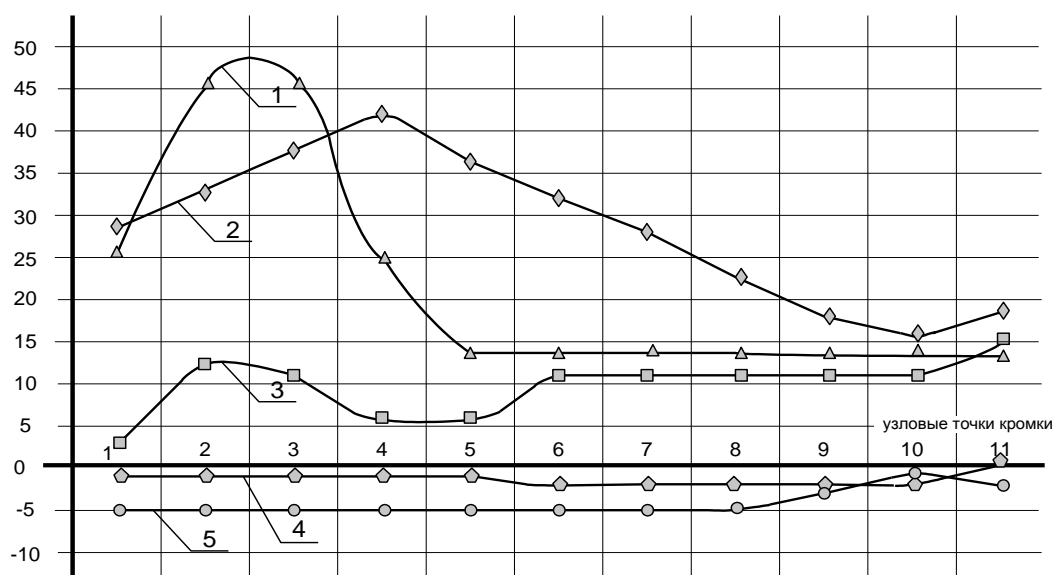


Рис. 3. Распределение напряжений σ_1 на главных режущих кромках СМП разных форм без отверстия [4] (ХН60МВТЮ; ВК8; $\varphi=45^\circ$; $t=2\text{мм}$; $S=0,34\text{мм/об}$; $V=0,2\text{м/с}$):
1 - 3-гранная; 2 - ромбическая ($\varepsilon=80^\circ$); 3 - 4-гранная; 4 - 5-гранная; 5 - круглая

На рис. 4 построена зависимость коэффициента запаса прочности от формы пластины. Коэффициент запаса прочности вычислялся по критерию Писаренко-Лебедева. На основании полученных результатов пластины по прочности располагаются в следующей последовательности в сторону ее увеличения: трехгранная ($\varepsilon=60^\circ$), ромбическая ($\varepsilon=80^\circ$), квадратная ($\varepsilon=90^\circ$), пятигранная ($\varepsilon=107^\circ$), круглая ($\varepsilon=180^\circ$), что подтверждается как теоретическими результатами, полученными методом конечных элементов, так и экспериментальными данными, полученными методом лазерной интерферометрии.

Для повышения прочности СМП необходимо применять стандартные пластины с большим углом ε при вершине, т.е. с большим числом граней, или разрабатывать новые конструкции пластин с увеличенным углом ε по сравнению со стандартными аналогами.

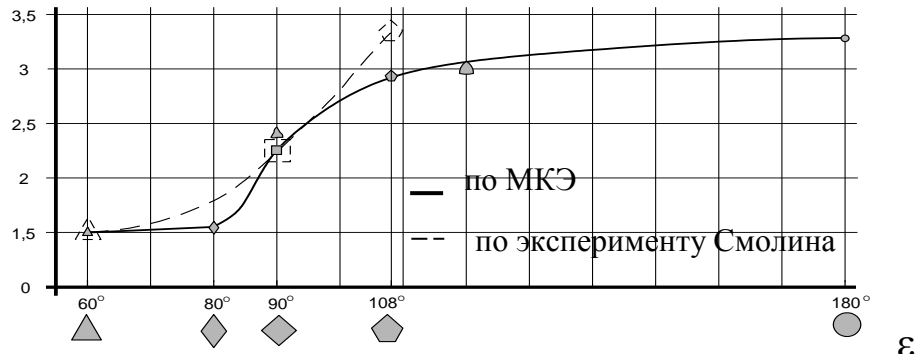


Рис. 4. Зависимость коэффициента запаса прочности от формы СМП (угла при вершине ε) [4, 6]

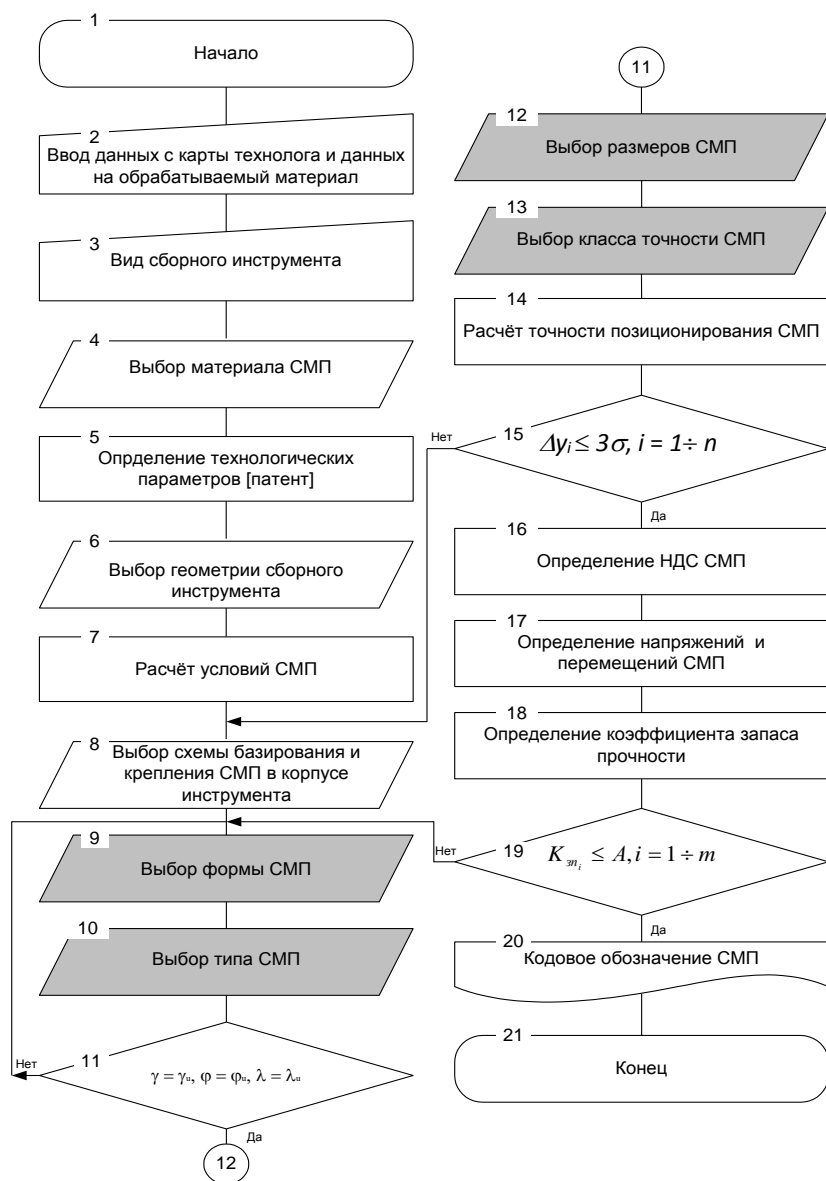


Рис. 5. Общая блок-схема алгоритма выбора и расчёта конструктивных параметров СМП [4]

Итогом работы стала разработка алгоритма выбора и расчета СМП, в котором реализуется вышеприведенный принцип выбора пластин. Алгоритм был разработан с учетом всех параметров СМП, входящих в кодовое обозначение пластин по ISO 1832 - 1991. На рис. 5 представлена общая блок-схема алгоритма, используя которую можно выбирать как стандартные СМП с целью повышения их эксплуатационной эффективности, так и разрабатывать новые конструкции пластин.

Следуя последовательности выполнения представленного алгоритма, необходимо выполнить следующие шаги:

◇ задать исходные данные – чертеж детали, материал обрабатываемой детали /2/;

◇ задать вид сборного инструмента, причем для каждого вида инструмента решается своя ветвь алгоритма, но общая последовательность выполнения операций сохраняется. На этом же этапе автоматически выбираются допустимые величины коэффициентов запаса прочности, установленные для каждого вида операции, например, при точении $K = 1,5$ (см. шаг 19), при фрезеровании $K = 1,7$ и т.д. [55] /3/;

◇ задать марку твердого сплава /4/, для выбора инструментального твердого сплава группы «вольфрам-кобальт» по логарифму твердости и ударной вязкости предложена авторская методика, на которую получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2018610802 и №2018610803 [1, 2];

◇ определить режимы резания по имеющимся справочным данным, для определения оптимальной скорости резания предложен способ, на который получен патент РФ №21736611 [4], определяется вид обработки, причем решение алгоритма на данном этапе вновь разветвляется и в зависимости от вида обработки на последующих шагах СМП рассчитываются по критерию прочности или точности, либо эти критерии решаются совместно, причем на этом этапе в случае выбора критерия точности необходимо определить допуски на замыкающее звено ψ размерной цепи статической настройки сборного инструмента с целью последующего использования их при определении запаса точности /5/;

◇ выбрать геометрию сборного инструмента по имеющимся справочным данным /6/;

◇ рассчитать силовое нагружение СМП теоретически по имеющимся методикам, с использованием эмпирических зависимостей или по экспериментальным данным /7/;

◇ выбрать схему базирования и крепления СМП в корпусе инструмента /7/;

Далее уже непосредственно начинается выбор или расчет конструктивных параметров СМП. Широкая номенклатура конструктивных параметров СМП предоставляет большой выбор пластин для определенных

условий. Поэтому выбор осуществляется перебором пластин, удовлетворяющих выбранным условиям. Для этого нужно сделать предварительный выбор пластин по имеющимся справочным данным, инструментальным каталогам и практическим рекомендациям, в том числе полученным в результате анализа исследований напряженно-деформированного состояния СМП и точности позиционирования их в корпусе инструмента, а затем сравнить выбранные пластины по степени удовлетворения их выбранным критериям и выбрать оптимальный вариант, для чего необходимо:

◇ выбрать формы СМП /9/;

◇ выбрать типы СМП, определяющие число рабочих граней, форму передней поверхности, наличие отверстия и величину заднего угла /10/. Также необходимо определить положение выбранных СМП в пространстве с целью определения геометрии сборного инструмента с учетом собственной геометрии пластин;

◇ сравнить полученные геометрические параметры сборного инструмента с заданными /11/. В случае, если сравнение показало, что геометрия ни одной выбранной СМП не обеспечивает требуемую геометрию сборного инструмента при ориентировании пластин в пространстве при установке их в корпусе инструмента, алгоритм возвращает пользователя к шагу /6/, в противном случае последовательность шагов выполняется в принятом порядке;

◇ выбрать линейные размеры СМП /12/;

◇ выбрать класс точности СМП /13/;

◇ рассчитать погрешность базирования СМП в случае выбора критерия точности /14/. Для автоматизированного расчета погрешности базирования СМП написана программа, приведенная в приложении №9;

◇ сравнить погрешность базирования с величиной 3σ , соответствующей среднестатистической точности оборудования (см. шаг 15), в случае, если ни одна выбранная СМП не удовлетворяет критерию статической точности, необходимо вернуться к шагу 8, в случае соответствия заданным условиям, последовательность шагов выполняется без изменений;

◇ определить НДС СМП по разработанной методике с применением метода конечных элементов /16/;

◇ рассчитать напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_I$ с целью последующего использования их в критерии прочности, и перемещения $\Delta_y, \Delta_x, \Delta_z$ для определения величины коррекции настроечных размеров инструмента /17/;

◇ определить коэффициент запаса прочности для каждого варианта выбранных СМП /18/;

◇ сравнить коэффициент запаса прочности с величиной K (см. шаг 3), в случае несоответствия ни одной рассчитанной СМП данному условию, необходимо вернуться к шагу 9, в противном случае алгоритм приводит к заключительному шагу;

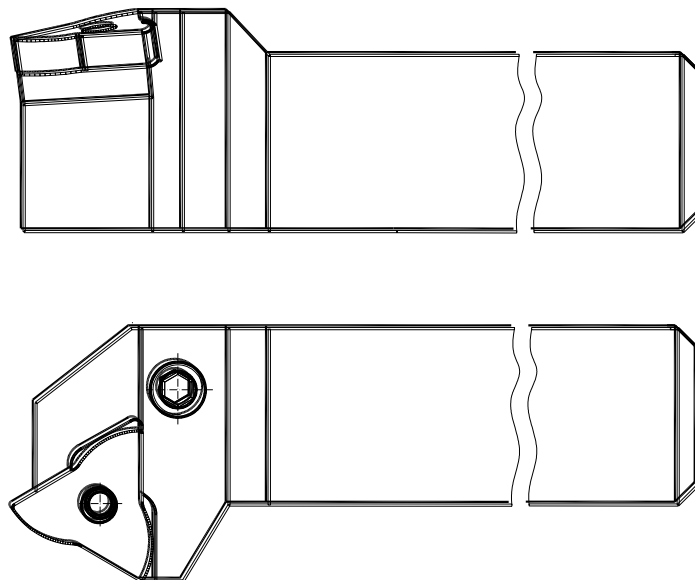


Рис. 5. Проходные резцы с СМП повышенной прочности (Патент РФ 2201316) [4, 5]

Список литературы

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа для визуализации зависимости ударной вязкости инструментальных твердых сплавов группы "вольфрам-кобальт" от температуры» / Пушкарев А. Н., Артамонов Е. В., Помигалова Т. Е. / №2018610802; Заявка №2017662007 от 22.11.17; Зарегистрирована 17.01.18.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа для визуализации зависимостей логарифма твердости инструментальных твердых сплавов группы "вольфрам-кобальт" от температуры» / Пушкарев А. Н., Артамонов Е. В., Помигалова Т. Е. / №2018610803; Заявка №2017662009 от 22.11.17; Зарегистрирована 17.01.18.
3. Патент РФ 2531336, МПК В23В 27/16. Режущая пластина для черновой и чистовой обработки / Артамонов Е.В., Васильев Д.В., Киреев В.В., Чернышов М.О. (РФ). - №2013129883; Заявл. 28.06.2013; Оpubл. 20.10.2014; Бюл. №29.
4. Артамонов, Е. В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е. В. Артамонов, Т. Е. Помигалова, М. Х. Утешев.– Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 152 с.
5. Патент РФ 2201316, МПК 7 В 23 В 27/16. Режущая пластина / Артамонов Е.В., Ефимович И.А., Помигалова Т.Е. (РФ). - № 2001105806/02; Заявл. 01.03.01; Оpubл. 27.03.03, Бюл. № 9.
6. Напряженно-деформированное состояние и прочность режущих элементов инструментов / Е. В. Артамонов [и др.]. – Москва : Недра, 2001. – 199 с.

Определение условий максимальной обрабатываемости деталей погружных центробежных насосов из сплава 05х16м4д2б

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В работе применяется научная гипотеза о том, что температура максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов соответствует температуре высокотемпературного охрупчивания. Изложены новые разработанные методики определения условий максимальной обрабатываемости жаропрочных материалов.

Annotation: This paper applies the scientific hypothesis that the temperature of the maximum workability of heat-resistant materials corresponds to the temperature of high-temperature embrittlement. Newly developed methods for determining the conditions of maximum workability of heat-resistant materials are presented.

Ключевые слова: обрабатываемость, стружкообразование, высокотемпературное охрупчивание.

Keywords: machinability, chip formation, high-temperature embrittlement.

Нефтедобывающее оборудование нефтегазового комплекса России работает в тяжелых условиях: высокие нагрузки, криогенные температуры, абразивы в виде кварцевого песка, пары кислот и другие воздействия. В связи с этим наиболее ответственные детали изготавливаются из специальных нержавеющей сталей, сплавов на основе никеля с высокими прочностными характеристиками и коррозионностойкими свойствами, типа alloy K-500, alloy 625, alloy 718.

На первом этапе транспортировки, подъема скважинной жидкости (флюида) из скважины на поверхность нефтепродуктов предприятиями нефтегазового комплекса применяют электроцентробежные насосы (рис. 1).

Электроцентробежный насос состоит из нескольких секций: мотор, являющийся нижней секцией, приводит в движение вал модуля протектора, тот таким же образом, через муфты, соединен с валами следующих секций, газосепаратором и насосом [14].

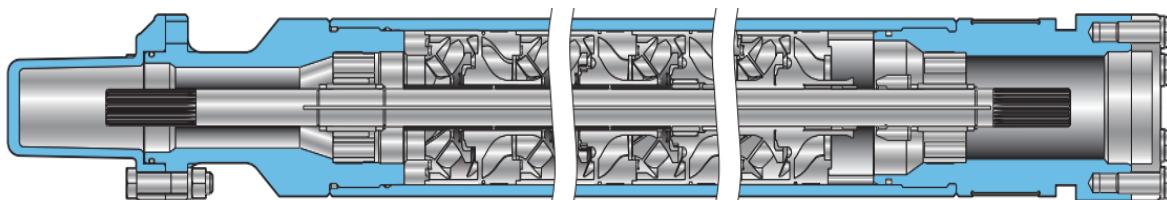


Рис. 1. Электроцентробежный погружной насос TPS-Line pump фирмы Schlumberger

Базовой деталью каждого модуля погружного электроцентробежного насоса является вал, представленный на рисунке 2. На валу крепятся такие сборочные единицы, как: рабочие колёса с лопастями, роторы, диафрагмы и др.

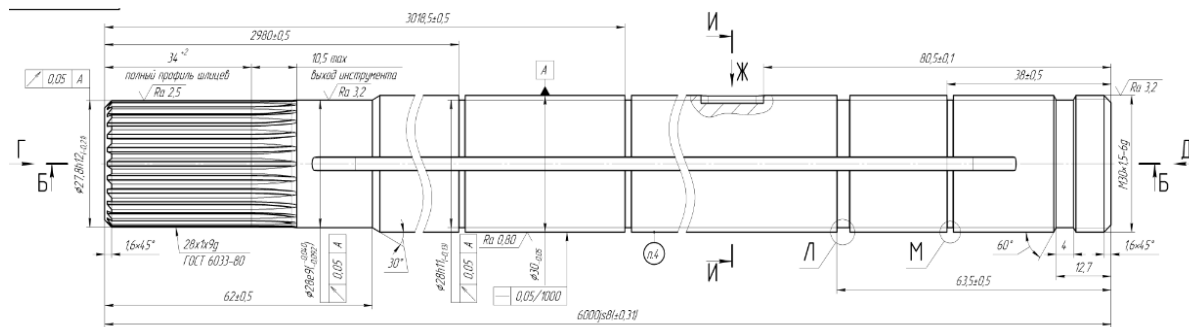


Рис. 2. Вал электроцентробежного погружного насоса TPS-Line pump фирмы Schlumberger

Современным машиностроительным производством наработан большой экспериментальный материал по определению оптимальных режимов резания при обработке деталей из сталей разных групп обрабатываемости, который положен в основу справочных данных.

В связи с санкционной политикой в отношении России возник дефицит зарубежных сталей марок alloy K-500, alloy 625, alloy 718, поэтому металлообрабатывающие предприятия вынуждены перейти на такие новые запатентованные отечественные марки сталей как:

1. 05X16M4Д2Б, 03X14Н7В по ТУ14-1-5518-2005 с пределом прочности до 160 кгс/мм²;
2. 8ХГМФТ по ТУ14-1-5556-2007 (буровая) с пределом прочности до 120 кгс/мм²;
3. Сталь 4340, в России обозначение 36Х2Н2МФА сталь конструкционная, легированная, предел прочности до 120 кгс/мм².

Определение режимов максимальной обрабатываемости таких сталей по прежнему является большой проблемой [1], [2]. Для определения этих режимов резания, необходимы продолжительные дорогостоящие стойкостные лабораторные испытания [3], [4], [5], [6], обусловленные большой трудоемкостью работы, приводящие к определённым финансовым затратам, а также к потере времени [7], [9], [10], [12].

Поэтому, по нашему мнению, одним из методов решения сформулированной задачи является формирование условий максимальной обрабатываемости специальных нержавеющих сталей, сплавов на основе никеля с высокими прочностными характеристиками и коррозионностойкими свойствами путём управления температурой резания через изменение скорости резания, по виду и коэффициенту сплошности стружки [8].

Для решения этой задачи был проведён анализ справочных данных зависимостей механических характеристик (δ , ψ), представленных на рисунке 3, обрабатываемых жаропрочных сталей от температуры, который показал, что эти стали и сплавы склонны к высокотемпературному охрупчиванию [13], обуславливаемым минимальным значением составляющей силы резания P_z и потребляемой мощности при резании, минимальным

значением относительного поверхностного износа по задней поверхности режущего лезвия инструмента $h_{\text{ОПЗmin}}$, обуславливающим максимальную обрабатываемость материалов, изменением вида стружки из сливной в элементную, уменьшением коэффициента сплошности стружки k_s до минимальных значений.

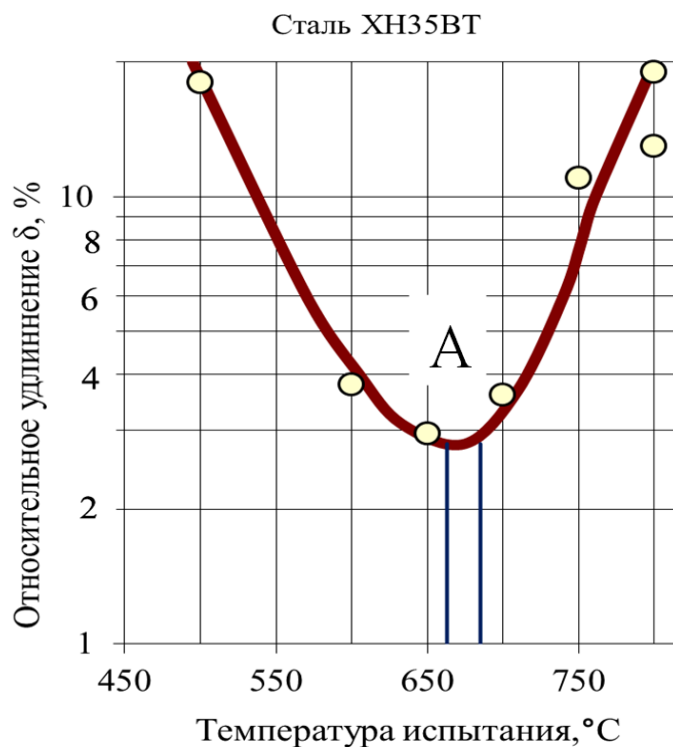


Рис. 3. Зависимость механических характеристик сталей от температуры

Для доказательства данного предположения в лаборатории резания металлов ТИУ, ИПТИ, кафедры «СИ» были проведены стойкостные испытания при черновой обработке стали 05Х16М4Д2Б по ТУ14-1-5518-2005 с пределом прочности до 160 кгс/мм², результаты которых показали явную зависимость вида стружки от температурно-скоростного фактора как представлено в таблице 1.

Результаты кратковременных стандартных испытаний при резании показали зависимость вида стружки от температуры резания, а именно с повышением скорости и температуры резания переход от одного вида стружкообразования к другому происходит дважды: сначала (при низких температурах) (до 500° - 600°) элементная стружка, характеризующаяся такими параметрами, как угол наклона плоскости сдвига (скола) элемента – ϕ_k , толщина стружки или высота элемента – a_1 , высота сплошного участка стружки – a_2 , толщина элемента – b_1 , шаг элементов – m , [11] переходит в сливную с основными характеристиками: коэффициентом усадки стружки ξ и углом наклона условной плоскости сдвига – ϕ_k , дальнейшее повышение температуры ($\approx 750^\circ - 800^\circ$) вызывает обратный переход сливной стружки в элементную, как показано в таблице 1.

Таблица 1

Изменение видов стружки при обработке стали 05Х16М4Д2Б,
резцом из твердого сплава ВК8 $\gamma=10^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $S=0,43$ мм/об
в зависимости от скорости и температуры резания

		
$v = 11$ м/мин, $\theta < 550^\circ$, Сливная	$v = 43,5$ м/мин, $\theta = 780^\circ$, Суставчатая	$v = 90$ м/мин, $\theta = 955^\circ$, Элементная

Экспериментальные данные показали хорошую корреляцию с результатами экспериментов работ [8], [9], [10] и полностью подтвердили диаграмму, представленную профессором Полетикой М.Ф. показанную на рисунке 4 [10], [12].

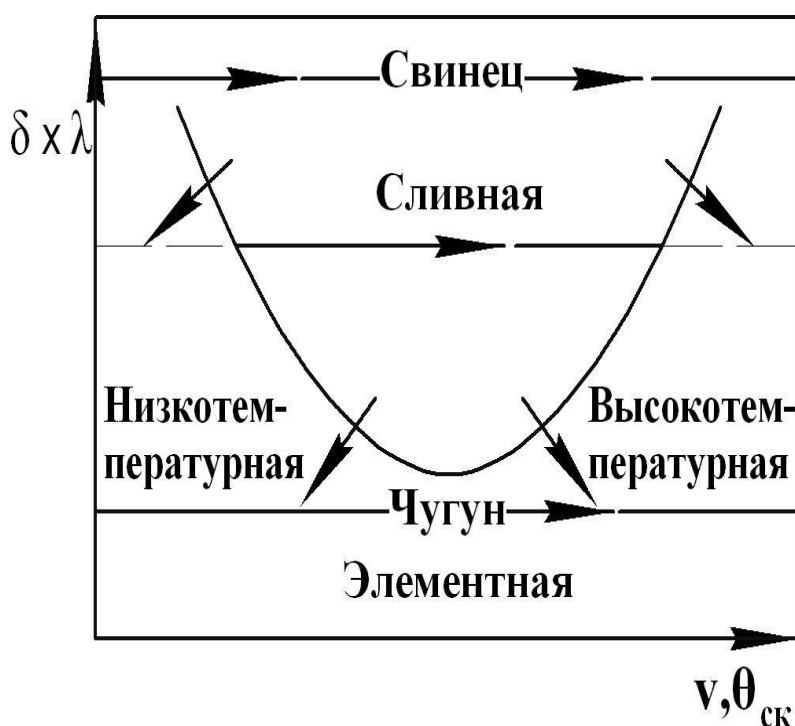


Рис. 4. Диаграмма профессора Полетика М.Ф.

Таким физическим явлением как высокотемпературное охрупчивание можно пользоваться при создании условий дробления стружки. По рисунку 3, видно, что максимальный эффект охрупчивания для сплава ХН35ВТ имеет место при определённой температуре равной 650 - 700 ° С. Этот температурный диапазон и необходимо создавать в процессе резания.

Для наглядности строят общий график зависимостей силы резания P , усадки стружки ξ и температуры резания θ от скорости резания V (рис. 5.).

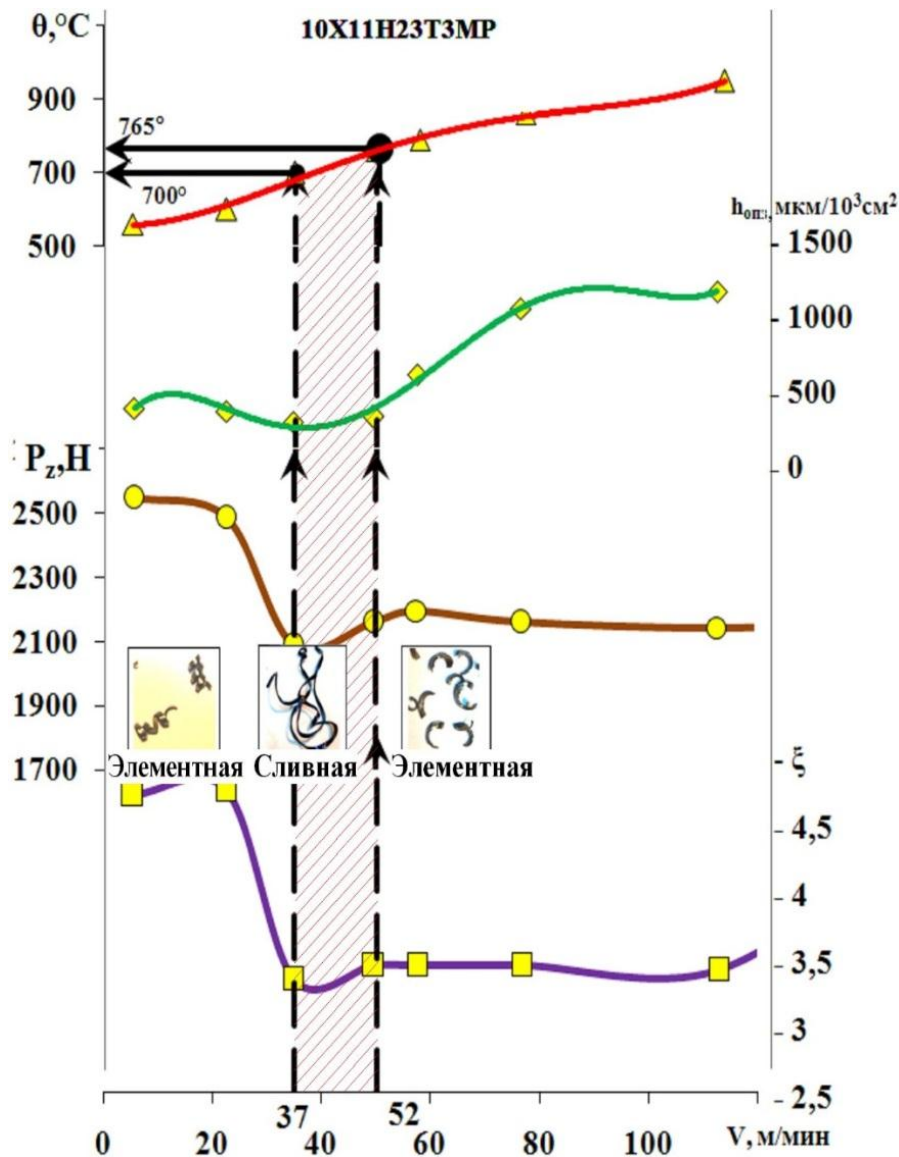


Рис. 5. Зависимости силы резания P_z , коэффициента усадки стружки ξ , температуры резания θ , °C, относительного износа по задней поверхности $h_{0пз}$ (мм) от скорости резания V (м/мин) при обработке стали 10X11H23T3MP

Выводы:

1. Применяя такое физическое явление, как температурное охрупчивание, решается задача дробления стружки жаропрочных материалов, при обработке резанием ответственных деталей нефтедобывающего оборудования;

2. Наглядно видно практическое соответствие оптимальной температуры резания температуре, при которой стружка из сливной переходит в элементную.

3. Применение предлагаемого способа определения оптимальной скорости резания позволяет сократить станко-часы и трудоемкость определения оптимальной скорости резания, расход обрабатываемого материала, так как эксперимент можно проводить в заводских условиях на реальных деталях нефтедобывающего оборудования.

Список литературы

1. Влияние скорости резания на стружкообразование при точении жаропрочных сплавов на основе хрома и никеля./ А.М. Адашкин [и др.] // СТИН. - 2014. - № 10. - С. 23-27.
2. Работоспособность инструментов и физико-механические характеристики инструментальных твердых сплавов и обрабатываемых материалов. /монография / Е. В. Артамонов [и др.] // под общей ред. М. Х. Утешева. – Тюмень : Изд. «Вектор Бук», 2008. – 160 с.
3. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров – Москва : Машиностроение, 1975. – 344 с.
4. Васин, С. А. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: учебник для технических вузов / С. А. Васин, А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. - 448 с.
5. Григорьев, С. Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов. – Москва : Машиностроение, 2011. – 368 с.: ил.
6. Макаров, А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров, 2-е изд. – Москва : Машиностроение, 1976. – 278 с.
7. Мокрицкий, Б. Я. Повышение эффективности стружкообразования при колёсотокарной обработке / Б. Я. Мокрицкий, В. В. Алтухова, П. А. Саблин // Проблемы машиностроения и автоматизации. - 2013. - № 2. - С. 33-38.
8. Патент РФ №142320 Российская Федерация, МПК G01K7/00. Устройство для тарирования естественной термопары, измерения сил резания и температуры в процессе резания / Артамонов Е.В., Васильев Д.В.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). - № 2013131205/28; заявл. 08.07.2013; опубл. 27.06.2014 Бюл.№18.
9. Подураев, В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В. Н. Подураев. – учеб. пособие для вузов. – Москва : «Высш. школа» 1974. – 587 с.:ил.
10. Полетика, М. Ф. Теория резания, ч. 1. Механика процесса резания. Учебное пособие / М. Ф. Полетика. – Томск: Изд-во ТПУ, 2001. – 400 с.
11. Розенберг, Ю. А. Методы аналитического определения степени деформации металла стружки при резании // Вестник машиностроителя, 2001. - №3. - С. 34-38.
12. Силин, С. С. Метод подобия при резании металлов / С. С. Силин. – Москва : Машиностроение, 1979. - 152с.

УДК 621.914.6

Артамонов Е.В., Киреев В.В., Васильев Д.В., Чернышов М.О.,
Зырянов В.А.

Проектирование сборных червячных фрез для обработки зубчатых колес кпп подъемника для ремонта скважин

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В работе приведено имитационное моделирование для двух видов червячных фрез: по DIN3972 и сборная червячная фреза с прогрессивной схемой резания.

Abstract: The paper shows the simulation for the two types of hobs: DIN3972 team and hob with a progressive pattern cutting.

Ключевые слова: зубофрезерование, инструмент, твердый сплав.

Keywords: hobbing, the tool, firm alloy.

В работе машиностроительных предприятий большую роль играет инструментальная оснастка. Одним из важнейших элементов инструментальной оснастки является режущий инструмент. Замена инструмента из быстрорежущей стали на сборный инструмент с использованием сменных многогранных пластин из твердого сплава даёт повышение производительности и в целом эффективности обработки [1-9, 11]. Коробка перемены передач предназначена для установки на агрегаты АПРС-40, используемые при ремонте скважин, не оборудованных вышечными сооружениями для производства тартальных работ, для чистки песчаных пробок желонкой и для возбуждения скважин поршневанием.

Для анализа процесса фрезерования червячной фрезой было графически промоделировано движение заготовки и червячной фрезы в системе Компас-3D [10, 12, 13]. За образец для сравнения была принята полнопрофильная червячная фреза (число зубьев на рейке 7, число реек = 8). Параметры нарезаемого цилиндрического зубчатого колеса: модуль 5, число зубьев 30. Подача фрезы осуществлялась вертикально с последующим постепенным врезанием зубьев в заготовку (рис. 1).

В процессе обкатки измерялись площади поперечного сечения срезаемого слоя передней поверхностью режущей пластины, т.к. максимальные нагрузки подобные зубья испытывают при врезании в заготовку. Силы резания при зубофрезеровании зависят от площади данных пятен. По результатам полученных данных о площадях пятен контакта были построены графики в зависимости величины площадей срезаемых слоёв от номера подачи (рис. 3).

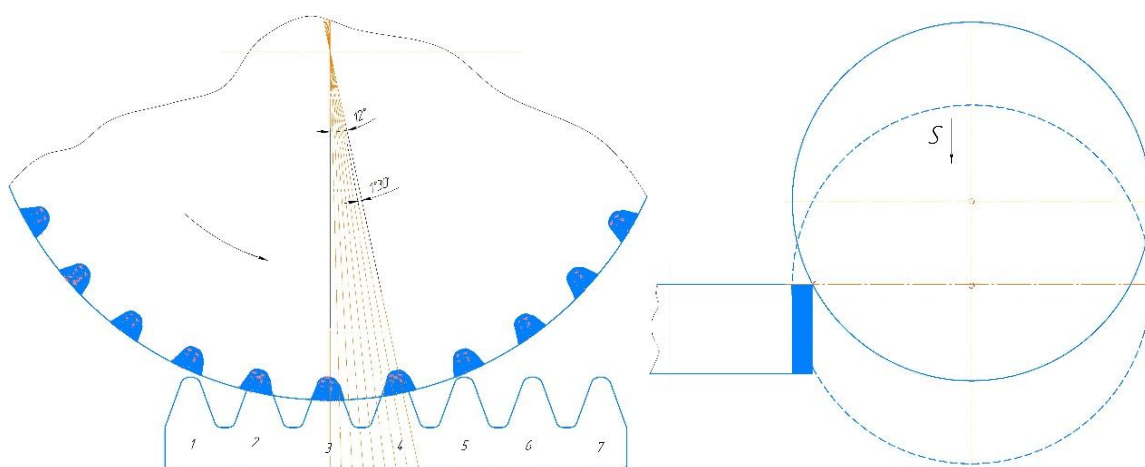


Рис. 1. Имитационное моделирование зубофрезерования с исходным контуром производящей рейки, изготовленной по DIN3972

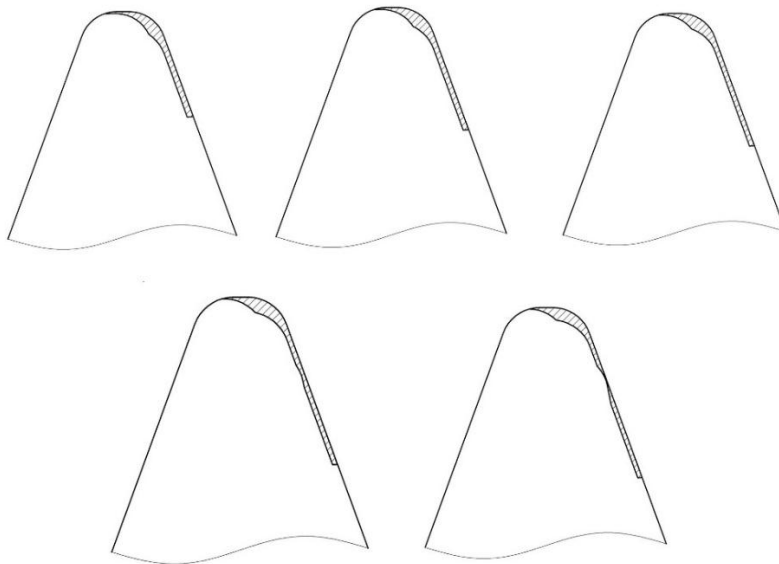


Рис. 2. Фрагменты площадей пятен контакта зубьев с исходным контуром производящей рейки, изготовленной по DIN3972

На рис. 2 показаны фрагменты имитационного моделирования для инструмента с исходным контуром производящей рейки, изготовленной по DIN3972. Видно, что зуб работает одновременно как верхней, так и боковыми кромками. В результате образуется сложная трёхэлементная форма стружки, которая затрудняет её благоприятный сход.

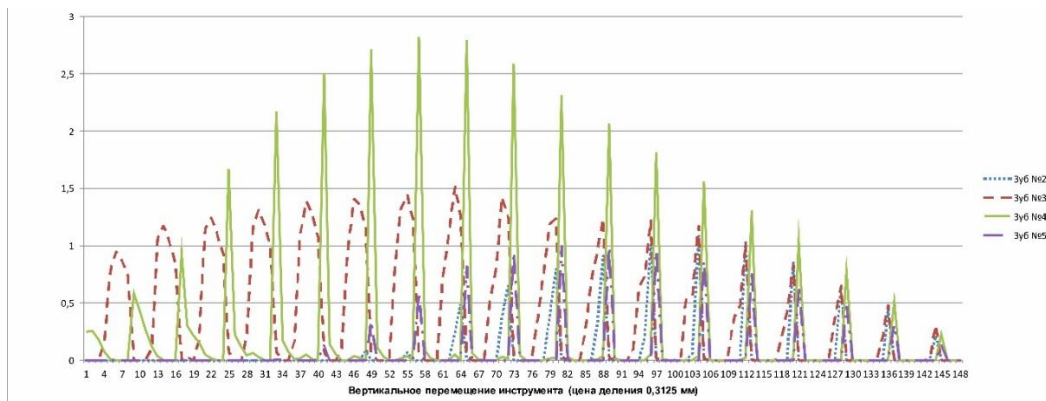


Рис. 3. График загрузки режущих пластин с исходным контуром производящей рейки, изготовленной по DIN3972

На рис. 3 показан график изменения площадей срезаемых слоёв на передней поверхности режущей пластины сборной червячной фрезы с исходным контуром производящей рейки, изготовленной по DIN3972 от вертикального перемещения инструмента, которым пропорциональна нагрузка зубьев фрезы. Из графика видно, что наиболее нагружены зубья №3 и №4. Максимальная площадь пятна контакта составляет $2,8 \text{ мм}^2$ (зуб №4). Нагрузка зуба №4 достигает максимума в середине зубонарезания. Зуб №3 нагружен более равномерно, максимальная площадь пятна контакта = $1,5 \text{ мм}^2$. Зубья №2 и №5 менее нагружены, максимальные площади равны, соответственно, 1 и $1,2 \text{ мм}^2$.

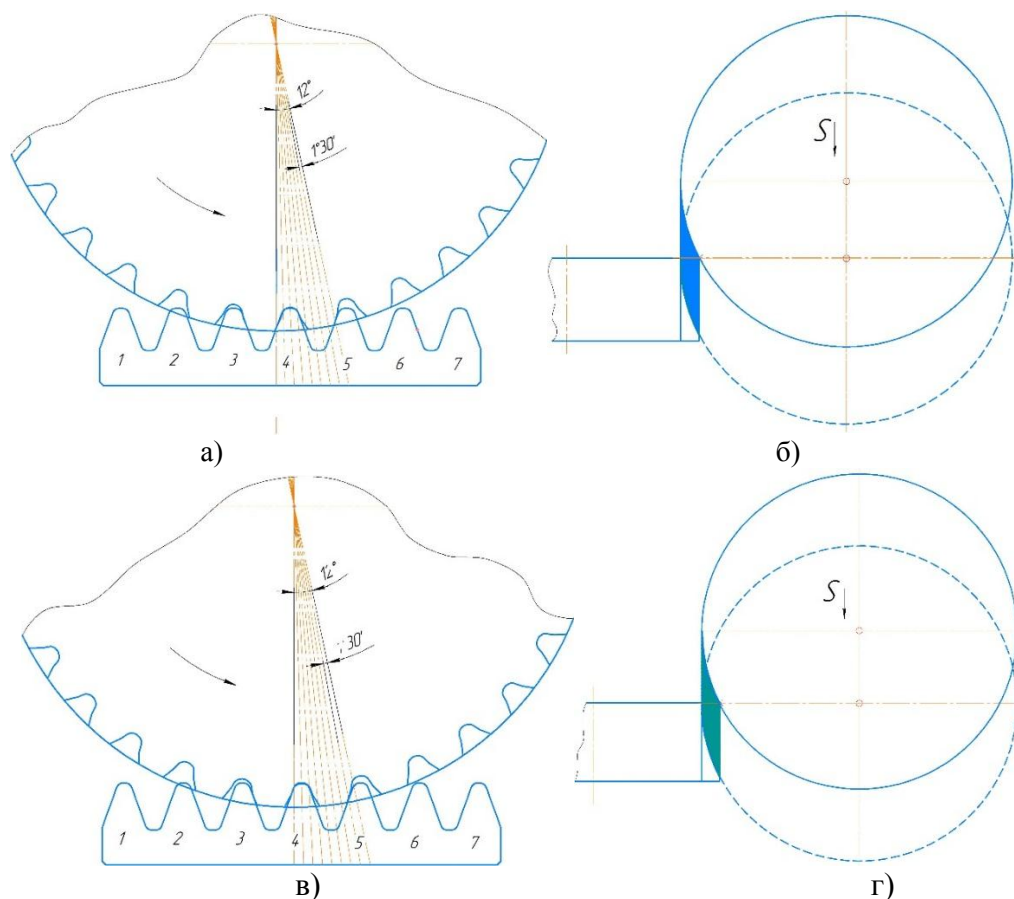


Рис. 4. Имитационное моделирование зубофрезерования с производящей рейкой, изготовленной по прогрессивной схеме резания: а, б) имитационная модель для заниженного исходного контура инструментальной рейки (e_1); в, г) имитационная модель для зауженного исходного контура инструментальной рейки (e_2)

Второе имитационное моделирование было проведено для фрезы с прогрессивной схемой резания (рис. 4).

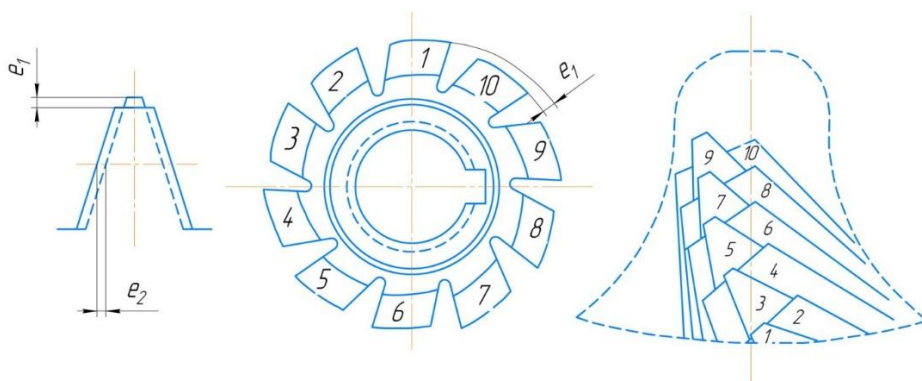


Рис.5. Величины занижения e_1 и заужения e_2

Рассчитали геометрию исходного контура инструментальной рейки фрезы по прогрессивной схеме резания. Прогрессивные зубья отличаются от DIN3972 на соответствующие величины занижения e_1 и заужения e_2 (рис. 5). Размеры e_1 и e_2 выбираются в зависимости от модуля, числа зубьев нарезаемого колеса. Номинальное занижение e_1 для однозаходной фре-

зы с модулем 5 составляет 0,2 мм, номинальное заужение e_2 для этой же рейки равно 0,15 мм. Значения e_1 и e_2 получены на основе теоретических и экспериментальных исследований при зубофрезеровании колёс модуля 2...2,5 фрезами с числом зубьев $z_0 = 12$ и модуля 2,5...10 мм с $z_0 = 10$. При числе зубьев, отличном от этих значений, табличные величины e_1 и e_2 необходимо умножать на поправочный коэффициент K' , который считается по формуле (для фрез с модулем 2,5...10 мм):

$$K' = \frac{10}{z_0}, \quad (1)$$

где z_0 – число зубьев на витке фрезы.

В данном случае:

$$K' = \frac{10}{8} = 1,25$$

В соответствии с поправочным коэффициентом значения e_1 и e_2 будут равны:

$$\begin{aligned} e_1 &= 0,2 \times 1,25 = 0,25(\text{мм}) \\ e_2 &= 0,15 \times 1,25 = 0,1875(\text{мм}) \end{aligned}$$

Высота зауженных зубьев принимается в соответствии с ГОСТ «Фрезы червячные однозаходные» и будет равна для модуля 5 равной 12,5 мм.

Высота заниженных зубьев будет равна:

$$h = h_b - e_1 \quad (2)$$

$$h = 12,5 - 0,25 = 12,25(\text{мм})$$

Ширина заниженного зуба принимается по стандарту (ГОСТ «Фрезы червячные однозаходные»). Для модуля 5 ширина зуба $S_{n0} = 8,02$ мм.

Ширина завышенных зубьев по делительной окружности будет равна (рис. 7):

$$S_b = S_n - 2e_2 \quad (3)$$

$$S_b = 8,02 - 2 \cdot 0,1875 = 8,02 - 0,375 = 7,645(\text{мм})$$

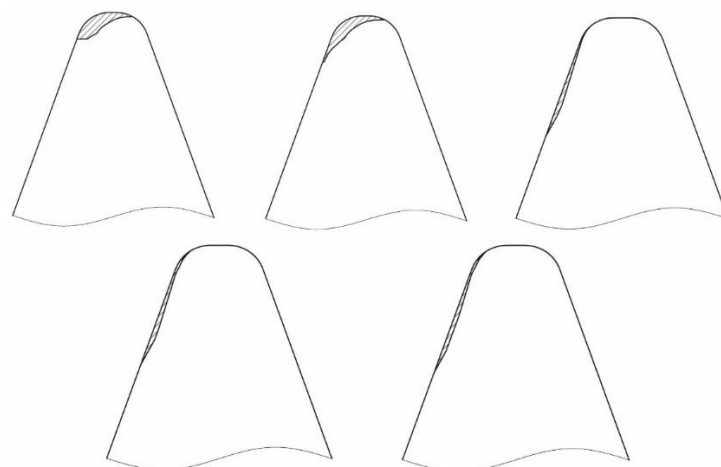


Рис. 6. Фрагменты площадей пятен контакта зубьев при прогрессивной схеме резания

На рис. 6 представлены фрагменты поперечные сечения срезаемых слоев для прогрессивной фрезы. Имитационное моделирование подтверждает, что при прогрессивной схеме резания режущие элементы работают разными кромками – первый зуб врезается верхней, второй – боковыми. В результате происходит разделение стружки на части, что облегчает её сход, снижает нагрузку на кромку зуба и, как следствие, силы резания.

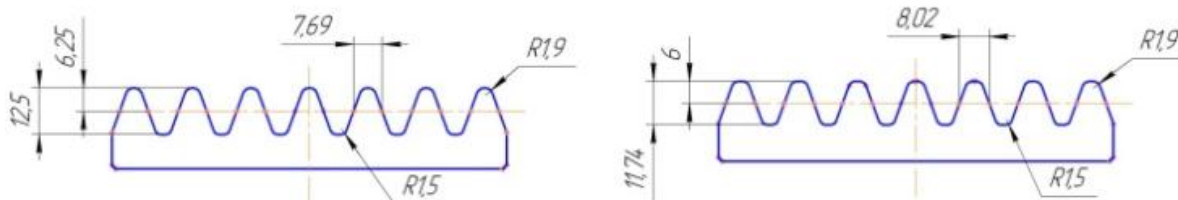
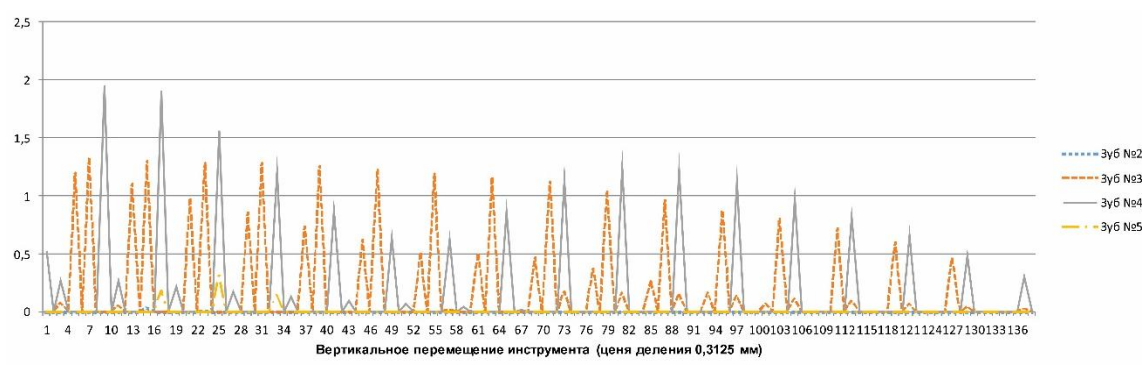
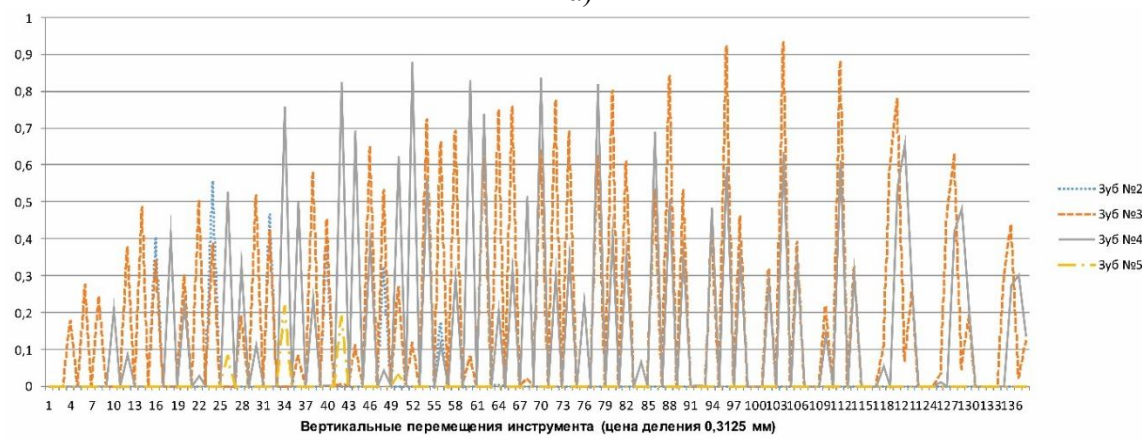


Рис. 7. Геометрия исходных инструментальных реек спроектированной фрезы с прогрессивной схемой резания



а)



б)

Рис. 8. График загрузки режущих пластин при прогрессивной схеме резания.
 а) Площади поперечного сечения срезаемого слоя для заниженного исходного контура инструментальной рейки (e1)
 б) Площади поперечного сечения срезаемого слоя для зауженного исходного контура инструментальной рейки (e2)

По результатам графика загрузки режущих элементов по передней поверхности исходной инструментальной рейки сборной червячной фрезы с

прогрессивной схемой резания (рис. 8 а, б) видны изменения прогрессивного фрезерования в сравнении с DIN3972. Нагрузка на зубья снижена, зубья загружены более равномерно. Максимальная нагрузка на зуб №4 смещается ближе к началу фрезерования (площадь поперечного сечения составляет 1,9 мм²), . Максимальная площадь поперечного сечения зуба №3 составляет 1,4 мм². Зубья №2 и №5 задействованы меньше, чем в червячной фрезе с исходным контуром производящей рейки, изготовленной по DIN3972, площади поперечного сечения срезаемых слоёв для этих зубьев не превышают 0,4 мм².

По результатам сравнения двух графиков площадей срезаемых слоев для DIN3972 и прогрессивной схемы фрезерования можно сделать следующие выводы:

1). При DIN3972 загрузка режущих элементов постепенно увеличивается к середине врезания а затем к концу врезания снижается, то при прогрессивной схеме резании максимальные площади поперечных сечений срезаемых слоёв находятся в самом начале резания. При этом нагрузка на режущие элементы при прогрессивной схеме более равномерна, что благоприятно для конструкции инструмента.

2). При прогрессивном резании уменьшается площадь поперечного сечения в сравнении с DIN3972. Максимальная площадь поперечного сечения у DIN3972 фрезы составляет 2,85 мм², а у прогрессивной фрезы – 1,9 мм². Уменьшение площади поперечного сечения (а, соответственно, и нагрузки на зубья) также способствует уменьшению износа режущих кромок зубьев фрезы.

3). В прогрессивной схеме резания больше задействованы зубья №3 и №4, а зубья №2 и №5 почти не нагружены, в сравнении с DIN3972.

Список литературы

1. Ничков, А. Г. Влияние схемы резания при зубофрезеровании на износ зубьев червячной фрезы / А. Г. Ничков, Б. К. Шунаев / II НТК УПИ /Тез.докл.конф. Свердловск, 1968.
2. Артамонов, Е. В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов / Е. В. Артамонов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2003. – 192 с.
3. Артамонов, Е. В. Инструментальные твердые сплавы и их влияние на работоспособность металлорежущих инструментов / Е. В. Артамонов, В. М. Костив; Учебное пособие. – Тюмень : ТюмГНГУ, 1998. – 136 с.
4. Ничков, А.Г. Стойкость червячной фрезы в зависимости от схемы резания / А.Г. Ничков /Передовой научно-производственный опыт резания металлов /Тез. докл. конф. Свердловск, 1971. С.29-33.
5. Медведицков, С. Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами / С. Н. Медведицков. – Москва : Машиностроение, 1981. - 106 с.
6. Ничков, А. Г. Повышение стойкости червячных фрез за счет выбора рациональных параметров зубофрезерования / А. Г. Ничков, В. А. Мартыненко, В. В. Лоскутов / Проблемы совершенствования малогабаритных зубофрезерных станков /Материалы конференции. Вильнюс, 1975. - С. 129-138.

7. Artamonov E. V. Determining the optimal cutting speed in turning by composite cutters on the basis of the chip, J. Russ. Eng. Res. 34(6) (2014) 404-405.
8. Artamonov E.V. Effectiveness of cutting by hods with replaceable hard-alloy plates/ E.V. Artamonov, V.V. Kireev; J. Russ. Eng. Res. 37(7) (2014) 473-474.
9. Artamonov E.V. Determining the maximum-performance temperature of hard-alloy cutting plates/ E.V. Artamonov, D.S. Vasilega, A.M. Tveryakov; J. Russ. Eng. Res. 34(6) (2014) 402-403.
10. Artamonov E.V. The Compound Hob For Processing Gearbox Pinions Used In Hoist For Well Repairs/ E.V. Artamonov, V.V. Kireev; Appl. Mech. Mater. 770 (2015) 469-475.
11. Artamonov E.V. Improving the Efficiency of Hobbing Mills/ E.V. Artamonov, V.V. Kireev, V.A. Zyryanov; ISSN 1068-798X, Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, No. 5, pp. 447–449. Allerton Press, Inc., 2017. DOI: 10.3103/S1068798X17050057.

УДК 621.91.01

Артамонов Е.В., Тверяков А.М., Штин А.С., Малышев А.В.

Мониторинг функциональной надежности инструмента

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Данная статья посвящена анализу существующих методик диагностики и мониторинга надежности режущего инструмента при обработке со снятием стружки деталей газотурбинных двигателей и установок, применяемых для транспортировки углеводородных ресурсов в Тюменской области.

Abstract: This article is devoted to the analysis of the existing techniques of diagnostics and monitoring of reliability of the cutting tool when processing with removal of shaving of details of the gas-turbine engines and installations applied to transportation of hydrocarbon resources in the Tyumen region.

Ключевые слова: Газотурбинные установки, режущий инструмент, труднообрабатываемые материалы, твердые сплавы, работоспособность, надежность, мониторинг.

Keywords: Gas-turbine installations, the cutting tool, the hardly processed materials, solid alloys, working capacity, reliability, monitoring.

Тюменская область относится к числу крупнейших газодобывающих регионов не только России, но и мира. Разведанные запасы природного газа оцениваются в 38 трлн. м³. На долю области приходится 90 % общероссийской добычи газа или четверть мировой добычи.

Природный газ, в отличие от других видов топлива, должен сразу направляться непосредственно к потребителям. Поэтому добыча, транспортировка и потребление газа представляют собой тесно связанные друг с другом звенья единого процесса. Добыча, переработка и транспорт газа сосредоточены в ОАО «Газпром», являющемся самой крупной в мире газодобывающей структурой. В его составе основную роль играют дочерние компании, входящие в ремонтную холдинговую структуру ООО «Газпром центрремонт», осуществляющие капитальный ремонт газотурбинных двигателей (ГТД) используемых для транспортировки газа. В отличие от

поршневого двигателя, в ГТД процессы происходят в потоке движущегося газа. Газотурбинный двигатель — это двигатель, в котором газ сжимается и нагревается, а затем энергия сжатого и нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу газовой турбины.

Температура нагретого газа во время работы превышает 1000°C. Материалы используемые при изготовлении деталей ГТД должны обладать высоким сопротивлением пластической деформации и разрушению при действии высоких температур и окислительных сред. Наиболее жаропрочными являются литейные сложнолегированные сплавы на никелевой основе, способные работать до температур 1050—1100 °С в течение сотен и тысяч часов при высоких статических и динамических нагрузках. Такие материалы, как правило, очень сложно поддаются механической обработке.

Проблеме повышения эффективности механической обработки труднообрабатываемых материалов посвятили свои труды очень многие ученые, такие как Бобров В.Ф. [1], Борискин О.И., Васин С.А., Верещака А.С., Веткасов Н.И., Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Драчёв О.И., Зорев Н.Н., Киселев Е.С., Лоладзе Т.Н., Макаров А.Д., Петраков Ю.В., Петрушин С.И., Петухов Ю.Е., Полетика М.Ф., Резников А.Н., Розенберг А.М., Розенберг Ю.А., Силин С.С., Старков В.К., Табаков В.П., Терёшин М.В., Утешев М.Х., Худобин Л.В., Шаламов В.Г., Ямников А.С. и др.

Целью работы является исследования известных методик повышения эффективности механической обработки жаропрочных материалов позволяющих управлять процессами изготовления и ремонта транспорта углеводородных ресурсов.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:

1. Провести литературный обзор известных методик повышения эффективности механической обработки.

2. По результатам анализа предложить рекомендации по повышению эффективности механической обработки и управлению процессами изготовления и ремонта транспорта углеводородных ресурсов.

Известно, что одним из определяющих факторов работоспособности режущих инструментов является изменение свойств ИТС от температуры резания [1].

На сегодняшний день существует научное направление изучающие механические и физические свойства обрабатываемых и инструментальных материалов, и применяют данные исследования для повышения работоспособности режущего инструмента.

Первый метод, показанный на рисунке 1.1, основан на установлении зависимости ударной вязкости KCV образцов из твердых сплавов от температуры (Θ °С) при испытаниях на ударный изгиб. На графике зависимости $KCV=f(\Theta)$ выделяют четыре зоны: 1 – хрупкое, 2 – квазихрупкое, 3 – вязкое и 4 – катастрофическое разрушение. Максимальной работоспособностью обладает твердый сплав при температуре перехода из квазихрупкого в вязкое состояние [2].

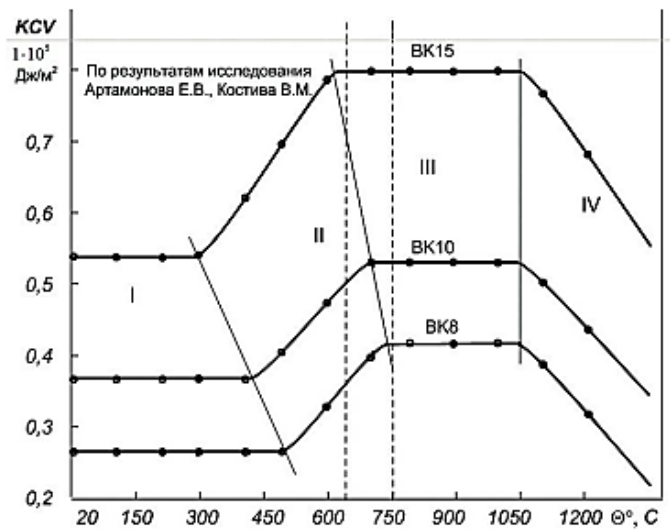


Рис. 1.1. Температурная зависимость ударной вязкости сплава ВК

Недостатком этого метода является необходимость изготовления специальных образцов, которые впоследствии разрушаются при испытаниях на ударную вязкость. Кроме того, необходимо перегреть образцы с учетом их остывания при переносе от печи к копру.

Второй метод, показанный на рисунке 1.2, основан на экспериментальном получении зависимости вязкости разрушения твердых сплавов (трещиностойкости), характеризуемой коэффициентом интенсивности напряжений K_{1C} от температуры испытаний (Θ °C). Температура максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин выбирается из интервала температур, в котором коэффициент интенсивности напряжений K_{1C} твердых сплавов имеет максимальные значения [3].

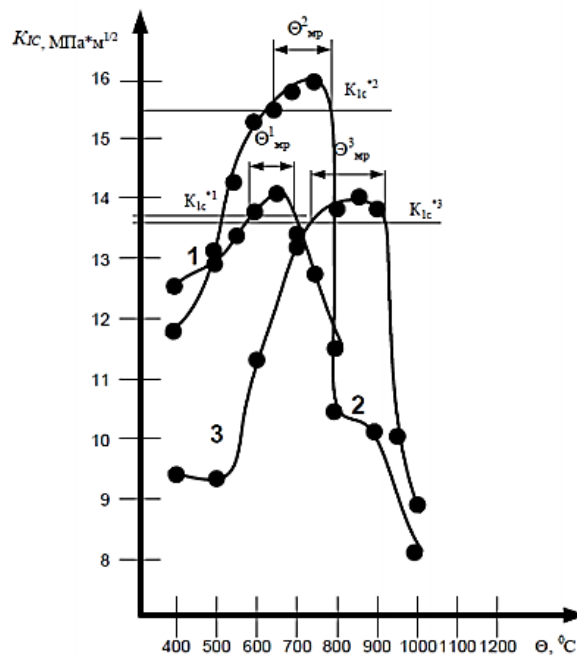


Рис. 1.2. Зависимость коэффициента интенсивности напряжений K_{1C} сплавов группы ВК от температуры

Недостатком этого метода является необходимость проводить расчеты критерия вязкости разрушения (трещиностойкости) K_{1C} твердосплавных режущих пластин на основании измерения диагоналей отпечатков и длин трещин, полученных при нанесении отпечатка индентора микротвердомера, и определения величины сопротивления развитию трещины. Расчет K_{1C} усложняет процедуру определения температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин и повышает погрешность измерений.

Третий метод, основан на экспериментально полученной зависимости логарифма твердости по Виккерсу твердых сплавов группы ВК от температуры $\lg HV=f(\Theta^\circ)$, суть которых заключается в следующем: температура, при которой твердый сплав при температурно-силовом воздействии переходит из упругопластического в пластическое состояние, а на графике логарифма твердости по Виккерсу $\lg HV=f(\Theta^\circ)$ твердого сплава имеет место точка перегиба, соответствует температуре максимальной работоспособности режущей пластины из данного ИТС [4].

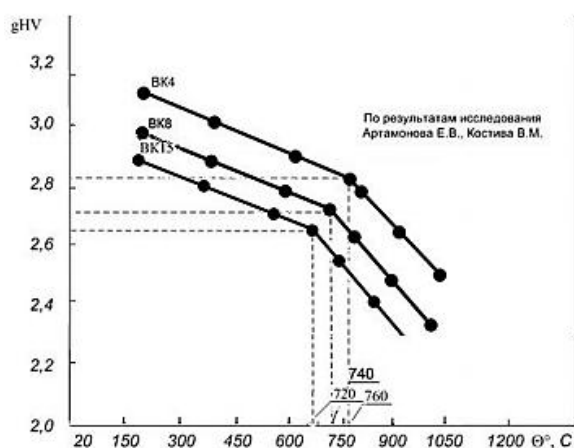


Рис. 1.3. Зависимость логарифма твердости ($\lg HV$) инструментальных твердых сплавов группы ВК от температуры

Четвертый метод, определения диапазона температур максимальной работоспособности СТП из ИТС по температурной зависимости значений средних длин трещин $l_{ср}$, исходящих из диагоналей отпечатка при индентировании режущей пластины алмазной пирамидкой, характеризующих вязкость разрушения [5].

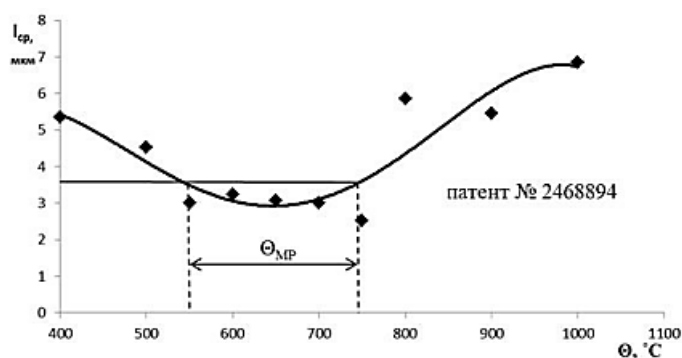


Рис. 1.4. Экспериментально полученная зависимость средних длин трещин $l_{ср}$ (мкм) твердого сплава ВК8 от температуры испытаний $\Theta(^\circ C)$

Минимальные значения $I_{ср}(мкм)$ наблюдаются в интервале температур 550-750°C ($\Theta_{мр}$), что характеризует высокую сопротивляемость разрушению и соответственно максимальную работоспособность режущего элемента из инструментального твердого сплава.

Пятый метод, определение температуры максимальной работоспособности СТП по электрической проводимости. Метод основан на исследовании изменения электрической проводимости твердого сплава в зависимости от температуры. Электрическая проводимость $G(10^{-2}См)$ — способность тела проводить электрический ток, а также физическая величина, характеризующая эту способность и обратная электрическому сопротивлению [6], [7].

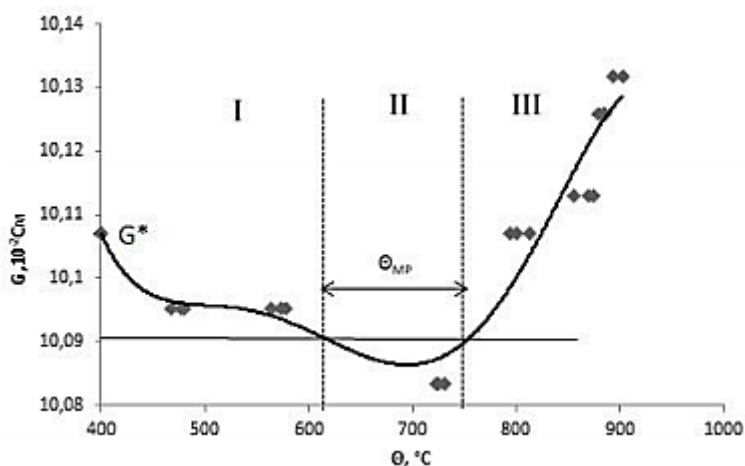


Рис. 1.5. Графики зависимостей электрической проводимости СТП из сплава ВК8 от температур

По результатам кратковременных испытаний нескольких стандартных твердосплавных пластин определяют по формуле электрическую проводимость $G(10^{-2}См)$ при различных температурах $\Theta(^{\circ}С)$. Для наглядности строят график температурной зависимости $G=f(\Theta)$ структурночувствительной характеристики материалов пластин по результатам кратковременных испытаний в диапазоне от 400 до 1000°C. Анализируя данные графика, определяют температурный интервал, в котором значения электрической проводимости твердосплавных режущих пластин минимальны. Выявленный интервал температур принимают, как условия максимальной работоспособности режущих пластин из данного твердого сплава $\Theta_{мр}(^{\circ}С)$. Данный метод позволяет определять температуру максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин ($\Theta_{мр}$) на основе исследований электрической проводимости. Причем величины $\Theta_{мр}(^{\circ}С)$ устанавливаются без дополнительных расчетов, что повышает точность определения температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин.

Все вышеперечисленные методики имеют свои достоинства и недостатки. Так как определение температуры максимальной работоспо-

способности твердосплавных пластин по зависимостям структурночувствительных характеристик твердых сплавов от температуры является актуальной проблемой необходимо, разработать методику, которая исключала бы все вышеперечисленные недостатки и имела ряд достоинств перед известными методиками такими, например как исследование сменных режущих пластин с покрытиями. На основании разработанной методики необходимо создать методико-информационный комплекс для конечного пользователя, заводского технолога, для выбора рациональных режимных условий и возможности управления процессами изготовления транспорта углеводородных ресурсов.

Список литературы

1. Бобров, В. Д. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – Москва : Машиностроение, 1975. - 344с.
2. Артамонов, Е. В. Определение температуры максимальной работоспособности инструментальных твердых сплавов / Е. В. Артамонов, Д. С. Василега // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2008. – № 4 (73). – С. 53–56. – Библиогр.: с. 56.
3. Артамонов, Е. В. Определение температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин. / Е. В. Артамонов, Д. С. Василега, А. М. Тверяков // СТИН. – 2013. - № 11. – С. 15–17.
4. Артамонов, Е. В. Повышение эффективности обработки деталей газотурбинных двигателей твердосплавными режущими пластинами. / Е.В. Артамонов, Д. С. Василега, А. М.Тверяков // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2013. – № 5. – С. 112–115. – Библиогр.: с. 115.
5. Штин, А. С. Установка для определения температуры максимальной работоспособности твердосплавных режущих пластин / А. С. Штин // Новые технологии - нефтегазовому региону. Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - 2015. - С. 131-133.
6. Артамонов, Е. В. Определение температуры максимальной работоспособности на основе электромагнитных свойств твердосплавных режущих пластин / Е. В. Артамонов, А. М. Тверяков, А. С, Штин // СТИН – 2018. - №10. - С. 19-22.

УДК 621.91.02

Васильев Д.В., Данилов В.Д., Зырянов В.А., Штин А.С.

Проектирование режущего элемента установки вихревого течения при изготовлении роторов винтовых забойных двигателей

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В работе предложен новый способ изготовления ротора винтового забойного двигателя с помощью вихревой головки. Инструмент, базирующийся в вихревой головке, представляет собой резец со сменной многогранной пластиной из твердого сплава.

Annotation: A new method for manufacturing a rotor of a downhole motor using a vortex head has been proposed. The tool, based in the vortex head, is a cutter with a replaceable multi-faceted plate made of hard alloy.

Ключевые слова: обрабатываемость, стружкообразование, вихревое точение.

Keywords: machinability, chip formation, vortex turning.

Долговечность является одним из показателей качества продукции, которого добиваются современные машиностроительные предприятия. В современной картине мира нечасто, но встречаются машины, имеющие приблизительно схожее конструкторское исполнение и одновременно разницу в показателе долговечность. Основной причиной такого парадоксального различия является совершенно другой подход к изготовлению деталей машин и в целом самого изделия, то есть к технологическому процессу. Эта проблема целиком имеет отношение к гидравлическим забойным двигателям, используемых для бурения нефтяных и газовых скважин.

Бурение скважин с использованием многозаходных винтовых забойных двигателей является решением с точки зрения экономики выгодным и так же высокотехнологичным. Первый винтовой забойный двигатель был разработан на базе Всероссийского научно-исследовательского института буров.

Применения многозаходного геороторного механизма является особенностью в современных забойных двигателях. Функционирует это, как цилиндрическая планетарная зубчатая передача внутреннего зацепления, содержащая статор и ротор с разницей в числе зубьев, равной единице.

Основными комплектующими многозаходного винтового геороторного механизма являются статор и ротор. Это уникальные зубчатые детали, которые впервые произведены в пермском филиале ВНИБИТ.

Обрабатывая металл с помощью различных режущих инструментов, чаще всего используется инструменты со сменными многогранными пластинами, особенно это наблюдается на современном оборудовании. Исходя из обзора данных по режущему инструменту, в других странах наблюдается следующая картина, почти весь ряд инструментов имеют механическое крепление твердосплавной пластины. Это обуславливается рядом преимуществ, таким как рост показателя стойкости пластины, сокращение расхода твердого сплава, повышение экономических показателей по изготовлению. Эти преимущества обеспечивают сокращение выпуска режущих инструментов с напайным способом крепления пластин из твердого сплава [1], [2].

На сегодняшний день есть огромный спектр рекомендаций по правильному использованию инструмента со сменными многогранными пластинами. Однако универсальной методики определения конструктивных параметров СМП не существует.

В последнее время расширены номенклатура и выпуск СМП, разработаны различные конструкции инструментов с механическим креплением

СМП. Применение режущего инструмента с СМП исключает напайку пластин, заточку и переточку, что позволяет эффективно использовать дефицитные легирующие элементы твердых сплавов, так как до 90 процентов количества СМП после использования возвращается в повторную переработку.

Одна из важных особенностей режущего инструмента с механическим креплением режущей пластины – это возможность менять пластины после их изнашивания, не меняя при этом державку[3].

Данный режущий инструмент, представленный на рисунке 1, содержит державку, на плоскости которой расположена режущая пластина. В отверстии режущей пластины установлен штифт с буртиком, который присоединен нижней резьбовой частью к планке. В сборе штифт с буртиком и планка образуют угловой рычаг. В соответствующее резьбовое отверстие державки устанавливается зажимной винт. При затягивании винта последний воздействует на нижнее плечо рычага – планку, при этом второе плечо – штифт с буртиком, перемещаясь, поджимает режущую пластину к боковым базовым поверхностям гнезда. Для смены пластины достаточно ослабить зажимной винт. Обозначение резца по ISO: PRANN3225J25.

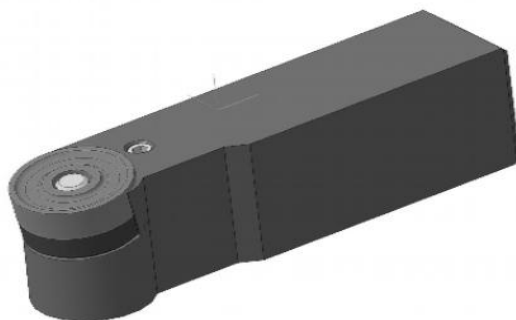


Рис. 1. Сборный режущий инструмент

Режущий инструмент предназначен для изготовления ротора винтозабойного двигателя, с помощью специального оборудования вихревой головки, представленной на рисунке 2, в которую устанавливается данный резец со сменной пластиной [4], [5].

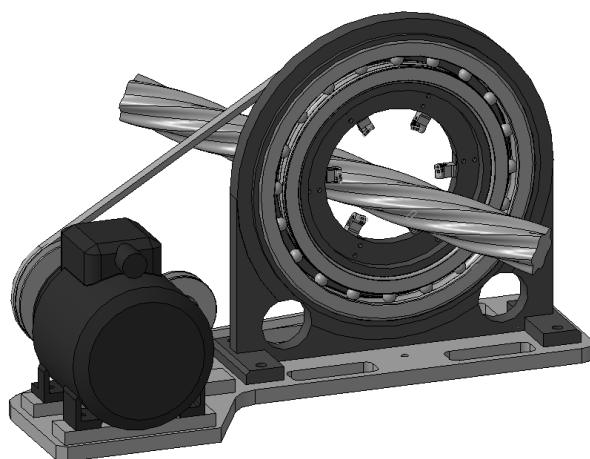


Рис. 2. Вихревая головка

Принципиально новое введенное оборудование и режущий инструмент (вихревая головка с резцами с СМП из твёрдого сплава), уменьшают износ инструмента и повышает скорость резания, тем самым уменьшая время на обработку и затраты на инструмент, а также данная вихревая головка устанавливается на универсальное токарное оборудование, вследствие чего возникает оптимизация средств предприятия и экономия на новое дорогостоящее оборудование.

Список литературы

1. Повышение эффективности механической обработки деталей газотурбинных двигателей / Е. В. Артамонов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ Западной Сибири. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института. - 2013. - С. 136-140.
2. Артамонов, Е. В. Методы учета надежности в методике оценивания качества сборных металлорежущих инструментов. Актуальные проблемы современного машиностроения / Е. В. Артамонов., Д. С. Василега, М. С. Остапенко // Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт. 2014. - С. 243-247.
3. Гречишников, В. А. Режущие инструменты / В. А. Гречишников, С. Н. Григорьев, А. Г. Схиртладзе. – Москва : Мосстанкин, 2014, – С. 384-387.
4. Зырянов, В. А. Сборная червячная фреза для повышения эффективности обработки ротора винтозабойного двигателя. / В. А. Зырянов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ Западной Сибири Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича. Тюмень, 2015. - С. 84-87.
5. Киреев, В. В. Повышение эффективности зубообрабатывающих фрез формированием инструментального червяка сменными твердосплавными пластинами. / В. В. Киреев // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тюмень, 2013. - С. 158.

УДК 620.179.1

Волгин И.А., Кучер Е.С., Торопов С.Ю.

Дефектоскопия как фактор повышения эксплуатационной надёжности трубопроводов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В статье рассмотрен метод магнитной дефектоскопии как фактор повышения эксплуатационной надежности трубопроводов, для выявления в них трещин или раковин.

Abstract: The article describes the method of magnetic flaw detection as a factor of improving the operational reliability of pipelines to detect cracks or shells in them.

Ключевые слова: дефектоскопия, трубопроводы, эксплуатационная надежность, дефекты металла, магнитное поле.

Keywords: flaw detection, pipelines, operational reliability, metal defects, magnetic field.

Метод магнитной или магнитно-порошковой дефектоскопии применяют для анализа ферромагнитных деталей на наличие в них дефектов типа поверхностных трещин или раковин, а также инородных включений, расположенных вблизи поверхности металла.

Суть магнитной дефектоскопии как метода — фиксация магнитного поля рассеяния на поверхности детали возле того места, где внутри находится дефект, во время прохождения через деталь магнитного потока. Как показано на Рис. 1, в месте дефекта магнитная проницаемость скачком меняется, то магнитные силовые линии как бы огибают место дефекта, тем самым выдавая его положение.

Поверхностные дефекты, либо дефекты, расположенные на глубине до 2 мм под поверхностью, «выталкивают» магнитные силовые линии за пределы поверхности детали, и в этом месте образуется местное магнитное поле рассеяния.

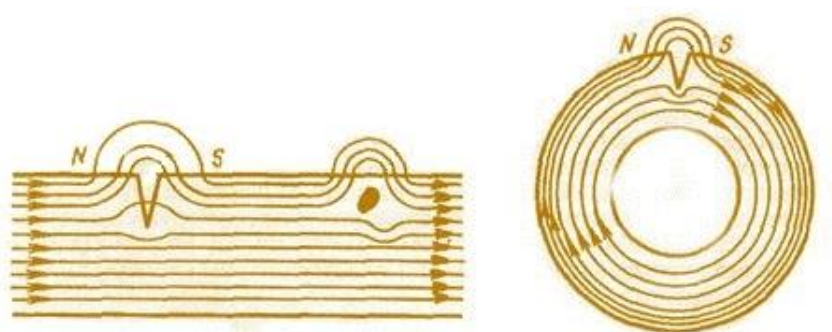


Рис. 1. Магнитные силовые линии

Для обнаружения дефектов различной направленности служит комбинированное намагничивание, при котором одновременно перпендикулярно действуют два магнитных поля: поперечное и продольное (полюсное); через деталь, размещенную в катушке с током, пропускают еще и ток циркуляционного намагничивания.

В результате комбинированного намагничивания, силовые магнитные линии образуют своего рода витки, и позволяют выявлять дефекты различного направления внутри детали вблизи ее поверхности. Для комбинированного намагничивания применяют приложенное магнитное поле, а полюсное и циркулярное — как в приложенном магнитном поле, так и в магнитном поле остаточной намагниченности.

После проведения дефектоскопии детали размагничивают посредством переменного магнитного поля. Таким образом, непосредственно для процесса дефектоскопии служит постоянный ток, для размагничивания — переменный. Магнитная дефектоскопия позволяет выявлять дефекты, расположенных не глубже 7 мм от поверхности исследуемой детали.

Дефектоскопия при обследовании трубопроводов.

В условиях эксплуатации на протяжении длительного времени трубопроводы подвергаются различным внешним и внутренним воздействи-

ям, в результате чего происходит деградация материала, коррозионные повреждения, возникают и развиваются трещины усталости на поверхностях труб и другие виды дефектов. Чтобы избежать серьезных последствий подрастания дефектов, проводят различные обследования, применяя методы неразрушающего контроля. Неразрушающий контроль — контроль надежности основных рабочих свойств и параметров объекта, не требующий выведения объекта из эксплуатации, либо его демонтажа.

Актуальность данной темы объясняется тем, что в наше время имеется значительное число трубопроводов в эксплуатации и процессе производства; повреждения и разрушение компонентов которых может приводить к серьезным экономическим потерям и пагубным воздействиям на природу.

Методы и технические средства неразрушающего контроля являются оптимальным и максимально удобным решением для проведения обследования определенных районов трубопроводов, без выведения объекта из эксплуатации, а также обследования труднодоступных участков для выявления дефектов.

Дефектоскопия с использованием искусственно созданных магнитных полей. Вихретоковые дефектоскопы.

В основе метода вихретоковой дефектоскопии лежит измерение вихревых токов, возникающих возле подповерхностных дефектов в магнитном поле. При возникновении таких токов на исследуемом участке фиксируются показания электромагнитного поля вихревых токов, образующихся при нахождении дефекта. В результате обработки параметров, имеющих отклонения, можно получить информацию о внутренних дефектах (рис. 2).

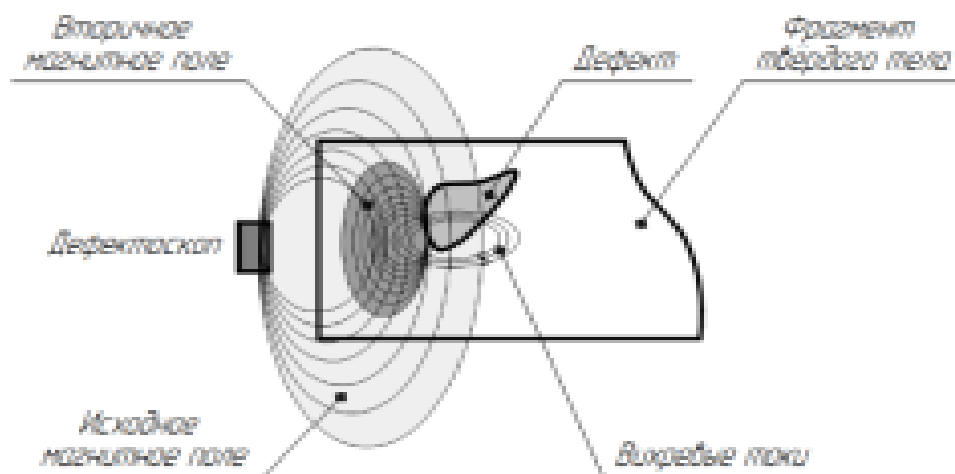


Рис. 2. Принцип работы вихретокового дефектоскопа

Магнитно-порошковая дефектоскопия.

Метод основан на выявлении рассеяния магнитного поля над дефектами (рис. 3). Этот метод является самым наглядным, т. к. принцип обследования заключается в нанесении магнитного порошка на исследуемый

участок, в результате чего при действии магнитного поля частицы намагничиваются и соединяются. Визуально можно наблюдать скопления порошка в зонах трещин. Данный метод позволяет контролировать различные по форме детали, сварные швы, внутренние поверхности отверстий.

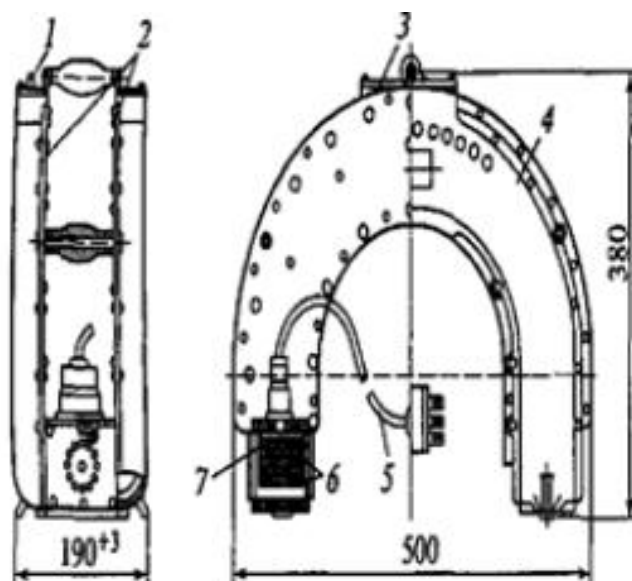


Рис. 3. Магнитно-порошковый дефектоскоп: 1 – выключатель, 2 – сердечник, 3 – клеммовый щиток, 4 – корпус, 5 – трехжильный кабель, 6, 7 – намагничивающая и дополнительная катушки

Дефектоскопия с использованием естественных магнитных полей. Метод магнитной памяти металла.

Метод магнитной памяти металла – метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния, возникающих на изделиях и оборудовании в зоне концентрации напряжений и дефектов металла. При этом собственных магнитных полей рассеяния отображают необратимое изменение намагниченности в направлении действия максимальных напряжений от рабочих нагрузок, а также структурную и технологическую наследственность деталей и сварных соединений после их изготовления и охлаждения в слабом магнитном поле, как правило, в поле Земли. При контроле методом магнитной памяти металла измеряются параметры собственных магнитных полей рассеяния от скоплений дислокаций в зонах концентрации напряжений в отличие от других известных магнитных методов, при использовании которых измеряют рассеяния на дефектах искусственно созданных магнитных полей. В металле и сварных соединениях методом магнитной памяти металла контролируют напряженно-деформированное состояние, неоднородность структуры и развивающиеся дефекты.

Методом магнитной памяти металла определяют:

- зоны концентрации напряжений – основные источники развития повреждений;

- микро и макро-дефекты на поверхности и в глубинных слоях металла.
- Достоинства и преимущества метода магнитной памяти металла:
- не требуется какая-либо подготовка объекта контроля (зачистка и т. п.);
 - не требуется специального намагничивания, т. к. используется естественная намагниченность, сформировавшаяся при изготовлении и эксплуатации изделий;
 - метод магнитной памяти металла может применяться как при работе объекта контроля, так и при его ремонте;
 - метод магнитной памяти металла – единственный метод неразрушающего контроля, позволяющий в режиме экспресс-контроля определять с точностью до 1 мм зоны концентрации напряжений и дефекты на поверхности и в глубинных слоях металла изделий;

Отличия от традиционных методов неразрушающего контроля (УЗК, МПД, рентген и др.):

- магнитная память металла – это метод ранней диагностики усталостных повреждений и «преддефектного» состояния металла.
- магнитная память металла – это второй после АЭ пассивный метод, при котором используется информация излучения конструкций. При этом МПМ, кроме раннего обнаружения дефекта, дополнительно дает информацию о фактическом напряженно-деформированном состоянии и позволяет выявить причину развивающегося повреждения.

Из анализа известных магнитных методов вытекают следующие обязательные условия их применения. Во-первых, обязательно используются намагничивающие устройства, и, во-вторых, известные магнитные методы могут применяться эффективно лишь при условии, что места концентрации напряжений и дефектов в объекте контроля заранее известны. Кроме того, известные магнитные методы контроля, как правило, требуют зачистки металла и других подготовительных операций. Очевидно, что использование традиционных магнитных методов контроля в протяжённых конструкциях и на оборудовании при таких условиях практически невозможно. Например, специально намагнитить трубную систему, общая протяжённость которой на современном энергетическом котле достигает 500 км, задача нереальная. Знать заранее места концентрации напряжений (основные источники развития повреждений) на каждой трубе котла не представляется возможным из-за влияния на их образование различных технологических, конструкционных и эксплуатационных факторов.

Заключение.

В результате проведенного обзора видно, что необходимо проводить дальнейшие исследования для усовершенствования оборудования. Также новые разработки могут существенно повысить надежность диагностики и выявлять проблему контроля состояния труб в отрасли международного уровня. Своевременное и достоверное определение размеров и конфигурации дефектов исключительно важно для оценок остаточного ресурса компонентов трубопроводов, для планирования и выбора технологии восстановления поврежденных участков, для назначения сроков проведения инспекций.

Список литературы

1. Щербинин, В. Е. Магнитный контроль качества металлов / В. Е. Щербинин, Э. С. Горкунов. – Екатеринбург : УрОРАН, 1996. – 400 с.
2. Дубов, А. А. Метод магнитной памяти (ММП) металла и приборы контроля: учебное пособие / А. А. Дубов, Ал. А. Дубов, С.М. Колокольников. – Москва : ЗАО «Тиссо», 2003. – 320 с.
3. Дубов, А. А. Диагностика котельных труб с использованием магнитной памяти металла. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 112 с.: ил.
4. Афанасьев, В. Б. Современные методы неразрушающего контроля / В. Б. Афанасьев, Н. В. Чернова // Успехи современного естествознания. — 2011. — № 7 — С. 73–74.
5. Шмаков, В. А. Планирование ремонта магистральных трубопроводов по результатам внутритрубной диагностики / В. А. Шмаков, Ю. Н. Смирнов, Р. Р. Гиззатуллин // Роль науки в развитии топливно-энергетического комплекса. Матер. научн.-практ. конф. 24 октября 2007 г. – Уфа, 2007. — С. 90–92.
6. Зубаилов, Г. И. Ударная вязкость металла и прочность трубопровода / Г. И. Зубаилов, К. М. Гумеров, Р. Р. Гиззатуллин // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта. Матер. научн.-практ. конф. 22 мая 2007 г. — Уфа, 2007. — С. 169–171.
7. Поезжаева, Е. В. Разработка робота для контроля трубопроводов / Е. В. Поезжаева, А. Г. Федотов, П. В. Заглядов // Молодой ученый. — 2015. — № 16. — С. 218–222.
8. Потапов, И. А. Акустические методы и средства неразрушающего контроля и дистанционной диагностики трубопроводов [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук 05.02.11 / Потапов Иван Анатольевич. — Санкт-Петербург, 2007. — С. 26–30.
9. Сайфутдинов, С. М. Капиллярный контроль: история и современное состояние / С. М. Сайфутдинов. – Москва, 2008. – 174 с.
10. Жумаев, К. К. Выявление внутренних и наружных дефектов трубопроводов ультразвуковыми дефектоскопами / К. К. Жумаев, Н. О. Каландаров // Молодой ученый. — 2014. — № 16. — С. 67–68.
11. Зацепин, Н. Н. Исследование магнитного поля вихревых токов над поверхностными дефектами / Н. Н. Зацепин // Дефектоскопия, 1969. - № 4. - С. 104–112.
12. Чистяков, В. В. Сравнительный анализ технических возможностей ультразвуковых дефектоскопов общего назначения / В. В. Чистяков, С. Л. Молотков // В мире неразрушающего контроля, 2002. - № 2. - С. 40–44.
13. Григорьев, П. А. Намагничивающая система дефектоскопа для контроля труб подземных магистральных трубопроводов / П. А. Григорьев, Л. А. Фридман, П. А. Халилеев // Дефектоскопия, 1976. - № 4. - С. 7–17.

УДК 621.812

Горшков А.О., Дибиров З.К., Торопов Е.С.

Подводная сварка нефтепровода

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Данная статья рассматривает способ сварки труб большого диаметра, а также сварку заготовок цилиндрической формы с целью повышения производи-

тельности процесса изготовления конструкций, снижения погонной энергии, улучшения формы шва, уменьшения зоны термического влияния, улучшения свойств металла сварного шва, уменьшения уровня остаточных напряжений.

Abstract: This article considers the method of welding of large diameter pipes, as well as welding of cylindrical billets in order to increase the productivity of the process of manufacturing structures, reduce the linear energy, improve the shape of the seam, reduce the zone of thermal influence, improve the properties of the weld metal, reduce the level of residual stresses.

Ключевые слова: сварка, подводная сварка, трубопровод.

Keywords: welding, underwater welding, pipeline.

Подводная сварка - это метод соединения металлических изделий находящихся в жидкой среде. Метод этот используется для строительства и ремонта опор мостов, прокладки трубопроводов через водоемы, и аварийных работах на судах. В нашем случае он используется для прокладки или ремонта нефтепроводов. Выбор оборудования зависит от глубины, на которой будет вестись сварка. Сварочный процесс выполняемый под водой - довольно опасное занятие ввиду полного нахождения сварщика в токопроводящей среде. Организм человека испытывает перегрузки из-за давления жидкости. Благодаря этому методу соединения металлических изделий возможна быстрая прокладка трубопровода. Связать две части города мостом через реку тоже реально благодаря подводной сварке. Подводная сварка была изобретена в начале 20 века нашим соотечественником Константином Хреновым. С тех времен сварка под водой модифицировалась, появились более совершенные комплектующие, а сварщики получили большой запас времени для нахождения под водой, благодаря современным кислородным баллонам. Подводная сварка выполняется с помощью обычных электродов (если сварка сухая) или специальных электродов для мокрой сварки. «Мокрый» метод – процесс, осуществляющийся без удаления воды из зоны сварки. Ручная подводная сварка обладает исключительной маневренностью и простотой оборудования, а для ее осуществления не требуются специальные приспособления для удаления воды из зоны сварки, что обуславливает низкую стоимость работ.

«Сухой» способ основан на применении специальных обитаемых камер. Эти камеры могут иметь абсолютно разные виды конструкций, так же могут быть выполнены абсолютно разного размера.

– большие глубоководные, когда и место сварки и сварщик изолированы от водной среды за счет подачи воздуха в камеру и оттеснения воды за ее пределы;

– водолазные колокола, обеспечивающие выполнение сварки в «сухой» среде, хотя сам сварщик находится по пояс в воде;

– портативный сухой бокс, который обеспечивает «сухую» среду только в зоне сварки.

Применение каждого варианта показало, что сварные швы получаются такого же качества, как и на суше, но имеются и существенные недостатки, которые не привели к широкому распространению «сухой» подводной сварки. При применении глубоководных камер, как показала практика, необходимы предварительная подготовка и специальное техническое сопровождение. Оказалось, что необходимо разработать и изготовить камеру нужной конструкции, подготовить технические средства (плавучие краны, насосы и другое оборудование), задействовать обслуживающий персонал. Такой вариант выполнения подводной сварки оказался достаточно дорогостоящим. Два других варианта оказались менее дорогостоящими, но и менее маневренными и универсальными, чем «мокрый» способ подводной сварки.

В 1965 г. в нашей стране были начаты исследования, позволившие устранить недостатки «мокрого» способа. При дуговой мокрой сварке возникает пузырь из газа, благодаря которому дуга может гореть на протяжении длительного времени. Пузырь образуется за счет распада продуктов плавки изделия и испарений от воды. При взаимодействии выделяемых из воды водорода с кислородом и самого металла возникают окислы. Обмазка, благодаря которой создается облако из газа при работе сварочного аппарата, идентична той, что применяется на открытом воздухе. Но для нее характерно более плотное и толстое покрытие. Электроды для сварки под водой имеют специальное водонепроницаемое покрытие (пленку), пропитанное водостойкими составами: парафином, лак целлулоидный; смолы и т.д. Вес пленки должен быть не менее 150% от массы самого электрода, чтобы обеспечить надежную и длительную защиту стержня при работах в воде.

Вид ручной дуговой сварки самый дешевый и позволяет получать качественные соединения. Для этого важны правильные режимы. Сварочный процесс происходит в холодной воде с содержанием большого количества водорода. Для того чтобы компенсировать потерю тепла, дуге в водной среде необходимо более высокое напряжение, чем на суше, 30-35 В. Поэтому сварочные аппараты имеют напряжение 70-110 В. При сварочных работах может быть использован как переменный, так и постоянный ток. Наиболее часто используется постоянный ток с силой 180-220 А. Диаметр электрода составляет 4-6 мм. Поверхность держателей и кабелей для такого вида работ герметична и обладает надежной электроизоляцией для обеспечения бесперебойной работы сварочной цепи.

Низкая производительность подводной сварки не может быть преодолена при использовании покрытых электродов, так как смена их через каждые 1-2 минуты является в подводных условиях сложной операцией, а козырек обмазки ухудшает наблюдение за формированием шва. Проведенные работы показали, что наиболее перспективной является полуавтоматическая сварка. Метод достаточно маневренный и универсальный, а ме-

ханизированная подача проволоки позволяет длительное время вести процесс сварки без перерывов. Поскольку проволока имеет меньший диаметр, чем электрод, и не имеет покрытия, создаются благоприятные условия для наблюдения за формированием сварного шва. Применение сплошной проволоки без защиты зоны сварки и с подачей защитных газов (аргон, углекислый газ) не обеспечили получение необходимых механических свойств сварных соединений. Дальнейшие исследования показали, что эффективная защита зоны сварки возможна при использовании порошковых самозащитных проволок. Порошковая проволока марки ППС-АН1 диаметром 1,2–2,0 мм впервые позволила провести подводную сварку «мокрым» способом с получением качественных сварных соединений. При современном уровне техники дуговая сварка порошковой проволокой «мокрым» способом осуществляется на глубине до 30 м. Существуют серьезные ограничения по номенклатуре металлов, пригодных для сварки таким способом. С увеличением глубины резко изменяются свойства дуги, интенсифицируется взаимодействие расплавленного металла с окружающей средой и становится проблематичным получение качественного соединения. Кроме того, следует учитывать, что «мокрый» способ подходит для глубины, доступной для человека в скафандре – не более 120–160 м. Так же разрабатываются автоматы, которые смогут осуществлять сварку под водой с минимальным участием человека. Совершенствуются системы дистанционного наблюдения и управления процессом.

Процесс подводного сваривания деталей имеет некоторые особенности, среди которых:

- трудный розжиг сварочной дуги электродом из-за наличия коррозии на металле под водой и из-за высокой плотности воды;
- формирование грубой формы шва из-за внешнего давления и моментального охлаждения свариваемых изделий;
- сваривание характеризуется хорошей герметичностью и высоким режимом применяемого тока;
- необходимость непрерывного горения дуги с целью поддержания газового пузыря под водой;
- для получаемых швов характерно глубокое проплавление из-за высокого давления со стороны воды на металл;
- возникновение частых дефектов, при которых смещается шовный центр по причине мутности воды и наличия пены;
- швы часто имеют небольшую ударную вязкость;
- при проведении работ вертикальные швы должны делаться сверху вниз из-за сильного притяжения, действующего под водой (поэтому нужно знать, как правильно держать электрод при сварке).

Мы считаем, что самым актуальным вариантом, является мокрый способ сварки, он нам подходит гораздо больше нежели сухой. Но и у мокрого имеются недостатки. Человек в какой-то мере рискует своей жиз-

нюю находясь в токопроводящей среде. Ведь случаи бывают разные. Короткое замыкание, скачок электричества и так далее.

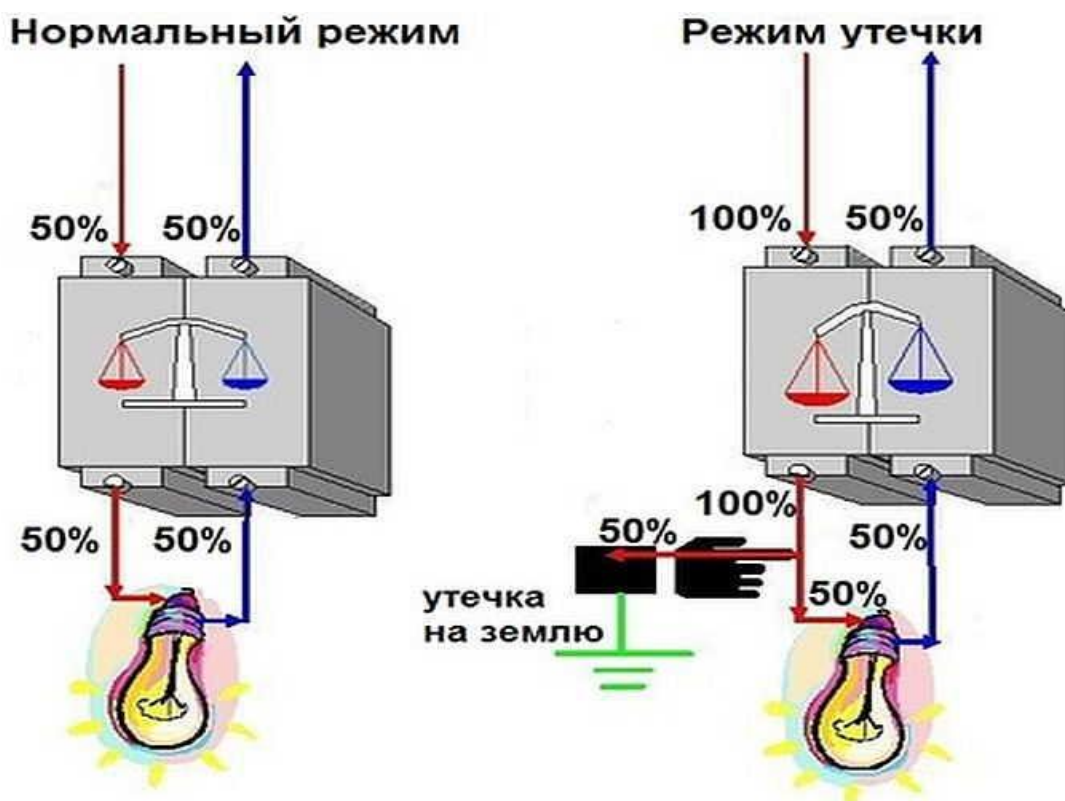


Рис. 1. Сигнализатор утечки

Чтобы таких случаев не происходило, можно попробовать подключить УЗО - устройство защитного отключения.

Электричество — одна из инженерных систем, которая обеспечивает наш комфорт. Но то же электричество несет в себе потенциальную угрозу, поэтому электросети должны быть максимально безопасными. Обеспечивают безопасность устройства автоматической защиты. Одно из них - УЗО. Основной функцией УЗО является отсечка тока при его утечке на землю. Устройства защитного отключения обеспечивают защиту от поражения током, особенно в тех случаях, когда отсутствует возможность подключения к заземлению. Отключающая защитная аппаратура способна работать в однофазных и трехфазных сетях с переменным током 220 и 380В. Устройство заключено в корпус из негорючих ПВХ (Поливинилхлорид) материалов и способно пропускать через себя токи различной величины.

Список литературы

1. Шалимов, М. П. Сварка вчера, сегодня, завтра...[Электронный ресурс] / М. П. Шалимов, В. И. Панов / svarkainfo.ru. – Режим доступа: <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/history/underwater/>
2. Бородавкин, П. П. Подводные трубопроводы / П. П. Бородавкин, В. Л. Березин, О. Б. Шадрин. – Москва, 1979. - 415 с.

Разработка самоходного шламоуборочного комбайна на производственной базе рф

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В настоящее время существует проблема разливов нефти и их ликвидации. Идея данной работы заключается в разработке самоходного комбайна для сбора нефтешлама в местах его образования и дальнейшей транспортировки. Разработка происходит с использованием деталей и механизмов, уже разработанных и производящихся на базе предприятий РФ и стран СНГ.

Abstract: Currently, there is a problem of oil spills and their elimination. The idea of this work is to develop a self-propelled combine to collect oil sludge at the places of its formation and further transportation. The development takes place with the use of parts and mechanisms already developed and manufactured on the basis of enterprises of the Russian Federation and CIS countries.

Ключевые слова: нефтепродукты, нефтешлам, переработка, самоходный комбайн.

Keywords: oil products, oil sludge, processing, self-propelled combine.

Сегодня на территории РФ ликвидация разливов нефти происходит в основном термическим и механическим способом с дальнейшей утилизацией в почве. [1]

Проблема заключается в том, что данные методы по устранению разливов недостаточно экологичны, очень трудоемки и нуждаются в больших сроках и затратах на локализацию разливов для того, чтобы их можно было безопасно ликвидировать. [2]

С точки зрения как финансовых, так и временных затрат эти методы являются очень дорогостоящими.

В данной работе описан начальный этап процесса реверс-инжиниринга самоходного шламоуборочного комбайна на основе комбайнов, успешно используемых в сельском хозяйстве. Разработка осуществляется на производственной базе Российской Федерации с целью нахождения уже готовых технических решений, которые могут быть использованы при проектировании комбайна без их фактической разработки.

Самоходный шламоуборочный комбайн представляет собой машину на гусеничном ходу, способную самостоятельно собирать шлам в резервуар и осуществлять его транспортировку в места переработки. [3]. Управление машиной осуществляется одним оператором. Данная особенность позволит одному комбайну заменить собой сразу несколько единиц техники при этом существенно сократив расходы на топливо, транспортировку и обслуживание другой техники, которая ранее требовалась для ликвидации разлива.

На данный момент на территории Российской Федерации такие машины не используются, что негативно влияет на экологию и экономику. [4] На территории нашей страны в основном используют методы механизированного удаления нефтепродуктов с поверхности почвы и их дальнейшим захоронением в почве. Недостатком такого метода является его очевидно малая экологичность и эффективность. Также для осуществления такого рода работ требуется большое количество техники и персонала, что негативно влияет на экономику. [5]

Преимуществом же самоходного шламоуборочного (рис. 1) комбайна является сбор толстого и вязкого слоя нефтепродуктов с помощью шнековых механизмов, специально разработанных для этих целей. Шнековые устройства отличаются простотой, надежностью и долговечностью конструкции, мало чувствительны к вибрации, не реагируют на свойства нефтепродуктов.

Забор нефтешлама происходит с помощью фрезы расположенной на конце стрелы комбайна. Далее сырье по ленте через верхний люк загружается в резервуар. После сбора шлама комбайн может осуществлять его транспортировку в шламовые амбары для сбора нефтепродуктов и их переработки.

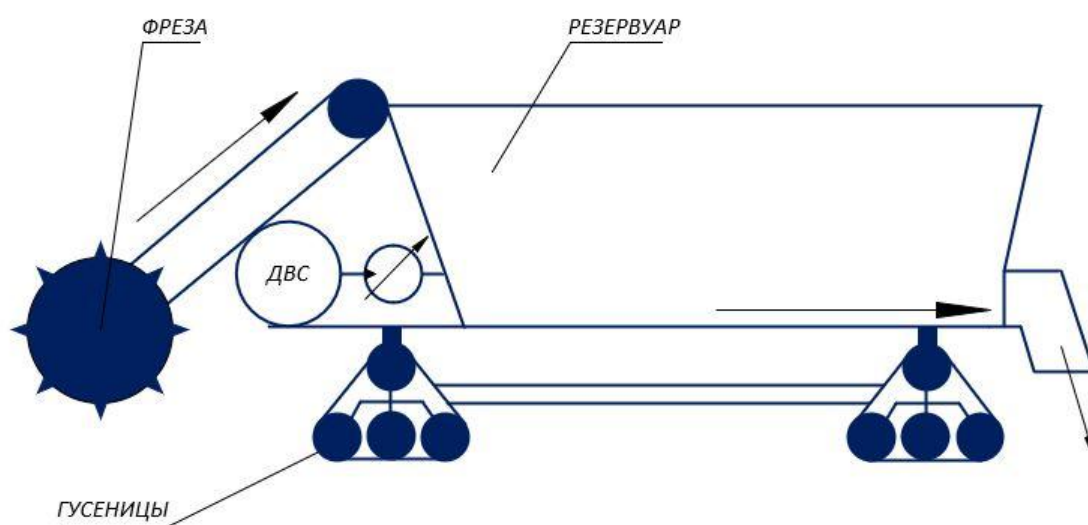


Рис. 1. Процесс сбора шлама

Также важной особенностью шламоуборочного комбайна является то, что все его элементы приводятся в движение с помощью гидравлического привода (рис. 2), с целью обеспечения плавности работы и экономии топлива.

На данный момент в промышленности ведущих нефтедобывающих стран мира машины такого типа не используются.

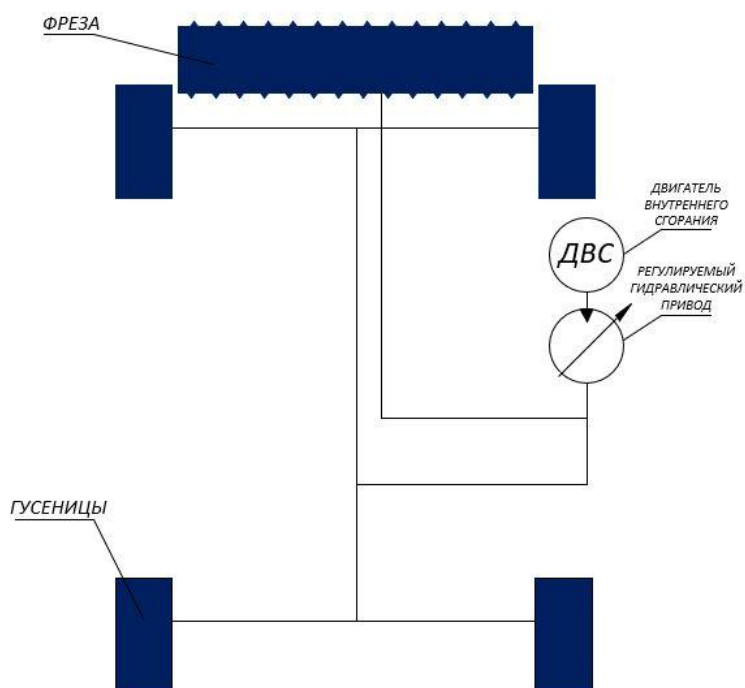


Рис. 2. Основные элементы, приводящиеся в движение гидроприводом

Отталкиваясь от вышеперечисленных конструкторских особенностей, доступной технической документации был проведен поиск по ключевым узлам и механизмам. Он показал, что существующих на территории Российской Федерации предприятий-изготовителей достаточно для компоновки основных узлов машины без их фактической разработки.

В качестве привода выбрана электрогидравлическая система управления КЭМЗ, оснащенная насосом переменной мощности, которая в совокупности с двигателем внутреннего сгорания ЯМЗ-534 обеспечивает высокую производительность всех узлов машины и их экономическую эффективность. Также, описанная выше система оснащена готовым компоновочным решением, позволяющим управлять всеми узлами комбайна с помощью джойстика. Эта особенность позволяет упростить работу оператору комбайна и переместить основные элементы управления узлами машины в одно место.

Данная электрогидравлическая система управления и двигатель внутреннего сгорания полностью соответствуют техническим характеристикам, предъявленным в техническом задании на проектирование комбайна.

На данный момент разработана общая 3D модель машины в реальном масштабе, элементы которой разделены на рабочие узлы для дальнейшей проработки конструкции и выполнения инженерных расчетов. Сейчас уже ведутся работы по созданию действующей масштабной модели шламоуборочного комбайна.

Список литературы

1. Очистка воды от нефтепродуктов [Электронный ресурс] // Все о воде. – Режим доступа: <http://vse-o-vode.ru/zagryaznenie/ochistka-vody-ot-nefteproduktov/>
2. Механические методы и средства ликвидации аварийных разливов нефти на водных объектах [Электронный ресурс] // АНПОО “Учебно-курсовой комбинат”. – Режим доступа: <http://www.npukk.ru/?q=node/225>
3. Переработка буровых шламов [Электронный ресурс] // Новая металлургия. – Режим доступа: <http://novo-met.ru/pererabotka-burovux-shlamov.html>
4. Гвоздики, В. К. Технические средства ликвидации разливов нефтепродуктов на морях, реках и водоемах: справочное пособие / В. К. Гвоздики, В. М. Захаров. - Ростов-на-Дону, 1996. – 157 с.
5. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти: Научно-практическое пособие / А. И. Вылкован [и др.]. – Санкт-Петербург : Центр-Техинформ, 2000. – 204 с.

УДК 621.86-8

Губенко А.С., Джинджолава Д.Г.

Разработка гибридной силовой установки автомобиля с помощью мотор-колеса

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: На сегодняшний день силовые установки автомобилей в своём большинстве представлены лишь ДВС и электродвигателями. Также существуют так называемые гибридные силовые установки, комбинирующие ДВС и электродвигатели, но такая система не достаточно распространена и практически не использует мотор-колеса.

Abstract: Today, the power plants of cars are mostly represented only by the internal combustion engine and electric motors. There are also so-called hybrid power plants that combine internal combustion engines and electric motors, but such a system is not quite common and practically does not use a motor-wheel.

Ключевые слова: Двигатель внутреннего сгорания, электродвигатель, мотор-колесо, силовая установка.

Keywords: Internal combustion engine, electric motor, motor-wheel, power plant.

В настоящее время существует проблема больших расходов топлива и выбросов вредных веществ в атмосферу во время процесса работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС), а также низкой эффективности ДВС в сравнении с электродвигателем. [1]

Сегодня уже имеются электромобили, которые используют электродвигатель как основную силовую установку. Также получили определенное распространение автомобили, имеющие гибридную силовую установку, то есть комбинирующие ДВС с электродвигателем, электрогенератором и аккумулятором. Перечисленные выше особенности позволяют сни-

зять выброс вредных веществ в атмосферу и сократить расход топлива, повысить КПД автомобиля. [2]

Недостатком первых является большая масса и высокая стоимость аккумуляторных батарей, необходимость длительной зарядки, и недостаточная дальность пробега, а гибридные автомобили в большинстве случаев имеют стоимость превышающую стоимость обычных автомобилей с ДВС. Общим недостатком является дефицит ресурсов для производства аккумуляторных батарей высокой емкости.

Идеей данной работы является разработка конкурентоспособной силовой установки с использованием ДВС, аккумулятора и мотор-колеса собственной разработки. Такая гибридная система позволит избавиться от недостатков, описанных выше и получить преимущества, которые открываются при использовании данной схемы компоновки автомобиля.

Мотор-колесо, общий вид которого показан на рис. 1, представляет собой колесо со встроенным в него электродвигателем и тормозной системой, работающими от аккумуляторной батареи, или если питание происходит от ДВС, то энергия передается посредством электромеханической трансмиссии (электрическая передача). Таким образом, каждое колесо имеет индивидуальный привод и позволяет, в случае необходимости, отказать от трансмиссии, так как мотор-колесо необходимо и достаточно установить на подвешенном к раме кронштейне. [3]

В настоящее время мотор-колеса не распространены, имеют малую мощность и применяются только в ограниченных областях автомобилестроения. Разработка гибридной силовой установки, сочетающей в себе двигатель внутреннего сгорания и мотор-колесо, позволит взять лучшее от этих двух технологий.

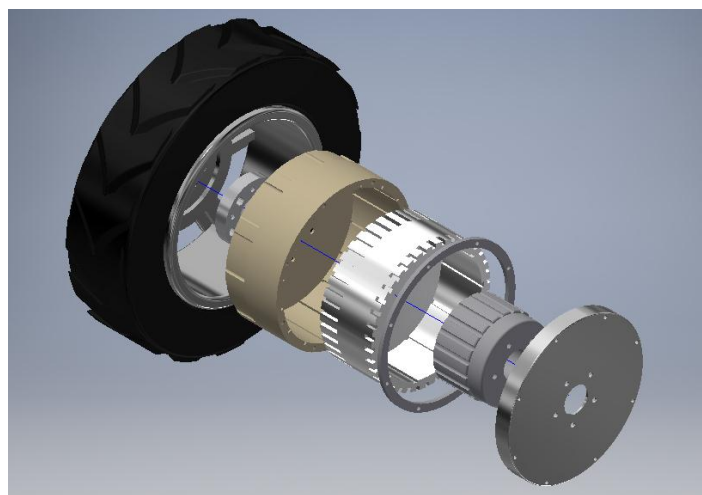


Рис. 1. Упрощенная модель мотор-колеса

Планируется, что данная гибридная система (рис. 2) [4] будет устанавливаться преимущественно на переднеприводные автомобили заменяя существующую заднюю ось с целью создания двух независимых друг от

друга приводов: переднего привода автомобиля и заднего электропривода. Такое конструкторское решение позволит получить полноприводный автомобиль без сложных систем карданных валов и существенных изменений в трансмиссии автомобиля. Так как привод автомобиля и электропривод колес независимы друг от друга они могут работать поодиночке или совместно, когда это необходимо. Например, в плохих погодных условиях или иных ситуациях, когда от автомобиля требуется максимальная проходимость. Также мотор-колеса можно использовать при отсутствии топлива, так как они могут работать непосредственно от энергии аккумулятора.

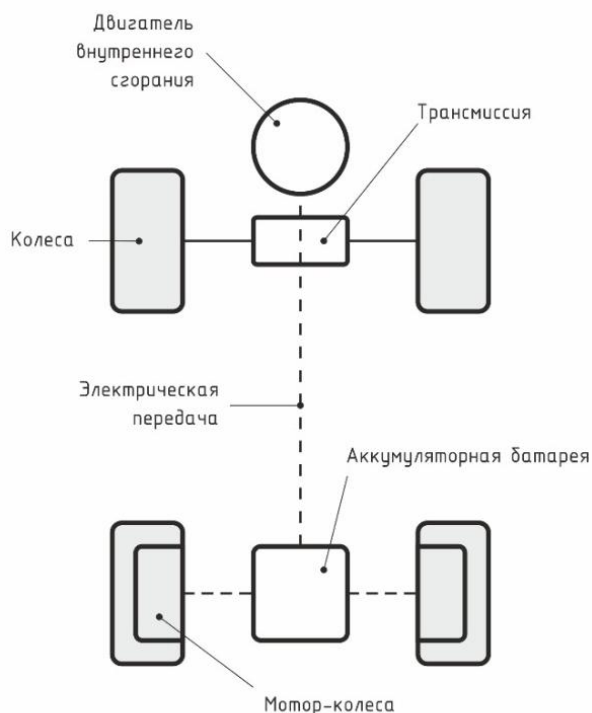


Рис. 2. Гибридная силовая установка

Благодаря особенностям электродвигателя может быть реверсировано направление вращения колеса и запущен генераторный режим позволяющий восполнить запас энергии в аккумуляторной батарее, специально установленной для нужд мотор-колес.

Такая гибридная система может управляться компьютером по концепции *Drive-by-Wire* (без прямого механического контакта).

На данный момент уже ведутся работы по созданию моделей компонентов мотор-колеса и планируется дальнейшее прототипирование с целью создания полезной модели.

Список литературы

1. Ишлинский, А. Ю. Политехнический словарь / А. Ю. Ишлинский. – Москва : Советская энциклопедия, 1989 – 656 с.

2. Ставров, О. А. Перспективы создания эффективного электромобиля / О. А. Ставров. – Москва : Наука, 1984. – 88 с.
3. Яковлев, А. И. Конструкция и расчет электромотор-колес / А. И. Яковлев. – Москва : Машиностроение, 1970. – 238 с.
4. Ключев, В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев. – Москва : Энергоатомиздат, 1985 – 560 с.

УДК 621

Гуляева А.С.

Реинжиниринг бизнес-процессов машиностроительных предприятий

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В условиях спада промышленного производства в России, вызванного финансовым кризисом, проведение реинжиниринга бизнес-процессов (РБП) на российских промышленных предприятиях приобретает особую актуальность. Для машиностроительного предприятия особую значимость имеют производственные процессы.

Abstract: In the conditions of a decline in industrial production in Russia caused by the financial crisis, the conduct of business process reengineering (BPO) at Russian industrial enterprises is of particular relevance. For a machine-building enterprise, production processes are of particular importance..

Ключевые слова: реинжиниринг, бизнес-процессы, машиностроение, предприятия.

Keywords: reengineering, business processes, engineering, enterprises.

Процессы, связанные с формированием рыночных отношений на постсоветском пространстве, повлекли за собой существенные структурные изменения в промышленном секторе экономики. Оставшиеся «на плаву» промышленные предприятия стран СНГ оказались неконкурентоспособными. Произошло глобальное перераспределение рынков сбыта. Изменились требования и к современному производству, основными из которых можно назвать гибкость, быстрое реагирование на запросы рынка и другие. Решить эти задачи без использования прогрессивных технологий и внедрения новых, зачастую комбинированных технологических процессов без их комплексной автоматизации, роботизации и применения гибких производственных систем (ГПС) невозможно.

Наиболее актуальной задачей, стоящей перед наукой и производством при разработке современных технологических систем в машиностроении, является развитие базовых технологий, на основе которых проектируются технологические процессы, создаются ГПС и формируются основные бизнес-процессы. Чтобы справиться с этой задачей, необходимо решить ряд проблем, имеющих научно-прикладное значение.

К числу таких проблем необходимо отнести, прежде всего, методики проведения реинжиниринговых преобразований технологической основы машиностроительных предприятий одновременно с выпуском основной продукции, поскольку это является главным источником финансирования инноваций. В настоящее время отсутствует методологическая база проведения диагностического анализа функционально-технологической основы машиностроительного производства для осуществления необходимых реинжиниринговых преобразований, учитывая их интерактивный характер. Не решен пока еще вопрос создания методики экономической оценки синергетической эффективности реинжиниринговых преобразований и ряд других не менее важных проблем.

Авторами реинжинирингового подхода к проведению организационных изменений являются М. Хаммер и Дж. Чампи. Они определили реинжиниринг как принципиальное переосмысление и радикальную перестройку бизнес-процессов, а сама суть реинжинирингового подхода по их мнению состоит в том, чтобы управлять компаниями через эти процессы [1]. Проблемы реинжиниринга исследовал К. Гринт [2]. Основываясь на анализе исторических предпосылок разнообразных организационных изменений, которые М. Хаммер и Дж. Чампи приписывают реинжинирингу, он утверждает, что реинжиниринг не является ни чем-то особенно новым, ни внутренне последовательным. К. Гринт считает, что причину популярности реинжиниринга надо искать в совместимости между идеями сторонников реинжиниринга и сторонников других современных концепций, а также между новизной этих идей [2]. Методические вопросы проведения реинжиниринга в своем исследовании рассматривали Т. Хесс и Л. Брехт [3]. Они пришли к выводу, что вторым после информационных технологий ключевым фактором успешного проведения реинжиниринговых преобразований можно считать командную работу. Они также установили, что пока еще нет общепринятого способа анализировать и определять бизнес-процессы. Наряду с принятием на Западе концепции реинжиниринга, она была подвергнута и жесткой критике. Одни считали, что ее надо просто отклонить как недолгую причуду управления. Другие утверждали, что в реинжиниринге нет ничего нового и что это не что иное, как старые идеи, облеченные в новые формы [4]. В определенной мере была подвергнута сомнению и эффективность реинжиниринга.

М. Хаммер считал, что причина критики кроется в отсутствии широкой реинжиниринговой практики. По его мнению, одной из причин, по которой реинжиниринговые инициативы оказались неспособными достичь ожидаемых результатов было то, что для перепроектирования выбирались не те процессы, которые могли бы в корне изменить производительность организации. Как авторы основной концепции реинжиниринга, М. Хаммер и Дж. Чампи отстаивают позицию, что все неудачи связаны с неправильным его использованием или непониманием его сущности, а отнюдь не с недостатками, присущими самой концепции.

Тем не менее, несмотря на противоречивое отношение к реинжинирингу, он продолжает оставаться достаточно популярной концепцией в управленческой литературе. Его также нередко рассматривают в числе подходов к изменениям бизнес-процессов во многих консалтинговых фирмах и организациях. Особая активность в поиске эффективных механизмов реинжиниринга характерна для последнего десятилетия прошлого века. В этих исследованиях можно выделить три методологических подхода: теоретический, консалтинговый и пользовательский. Все они декларируют возможность повышения конкурентоспособности на основе совершенствования бизнес-процессов.

Целью проведенного авторами исследования является анализ процесса проведения реинжиниринга и формирование концептуальной основы технологического реинжиниринга, как инструмента для осуществления инновационно-технологического прорыва в машиностроении.

Реинжиниринг производственного предприятия проявляется в радикальном совершенствовании технологической основы путем внедрения инноваций, изменении организации производства и логистики, участия менеджмента в решении социальных проблем.

Список литературы

1. Хаммер, М. Реинжиниринг корпораций: манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи; Пер. с англ. — Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2007. — 288 с.
2. Grint, K. Reengineering history: social resonances and business process reengineering.// Organization. — 1994. — №1 (1). — pp. 179 – 201.
3. Hess, T. State of the Art des Business Process Redesign: Darstellung und Vergleich Bestehender Methoden / T. Hess, L. Brecht. — Wiesbaden : Dr. Th. Gabler Verlag, 1995. — pp. 57-69.
4. Strassmann, Inc. [Электронный ресурс] / The Home Page. — Access mode: <http://www.strassmann.com/>.
5. Кутелев, П. В. Организационный инжиниринг: Технология реинжиниринга бизнеса / П. В. Кутелев, И. В. Мишурова. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. — 176 с.

УДК 669

Ефимова К.О.

Повышение прочности резьбового соединения в результате использования поверхностно-модифицированного слоя из никелида титана

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: в статье рассмотрено применение сплавов с памятью формы в области машиностроения, а именно использование поверхностно-модифицированного слоя

на основе никелида титана. Предлагается замена конусного штуцера, используемого в капилляриметре, на цилиндрический с покрытием из никелида титана.

Abstract: in article use of alloys with shape memory in the field of mechanical engineering, namely use of the superficial modified layer on the basis of a nikelid of the titan is considered. Replacement of the conical union used in a kapillaryarimetra on cylindrical with a covering from a nikelid of the titan is offered.

Ключевые слова: материалы с эффектом памяти формы, никелид титана, капилляриметр, штуцер, поверхностно-модифицированный слой.

Keywords: materials with effect of shape memory, nikelid the titan, kapillaryarimetr, the union, the superficial modified layer.

В современном мире активно развивается индустрия сплавов с памятью формы (СПФ). Это связано с использованием таких сплавов в различных областях техники и с разработкой новых технологий их получения. Наибольшим обратимым формоизменением, а так же высокими технологическими и физико-химическими свойствами среди сплавов с ЭПФ обладает никелид титана (TiNi). Использование этого материала в машиностроении имеет большие перспективы, но из-за его высокой стоимости экономически нецелесообразно применять сплав TiNi в качестве конструкционного материала. В связи с этим актуальной задачей является создание ресурсосберегающих технологий путем применения поверхностно-модифицированного слоя из никелида титана и исследование функциональных и структурно-механических свойств получаемых композиций [1].

В рамках исследования сплавов с памятью формы и их применения в области машиностроения выбран прибор для измерения капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги и его зависимости от влажности – капилляриметр [2]. Принципиальная схема этого прибора представлена на рис. 1.

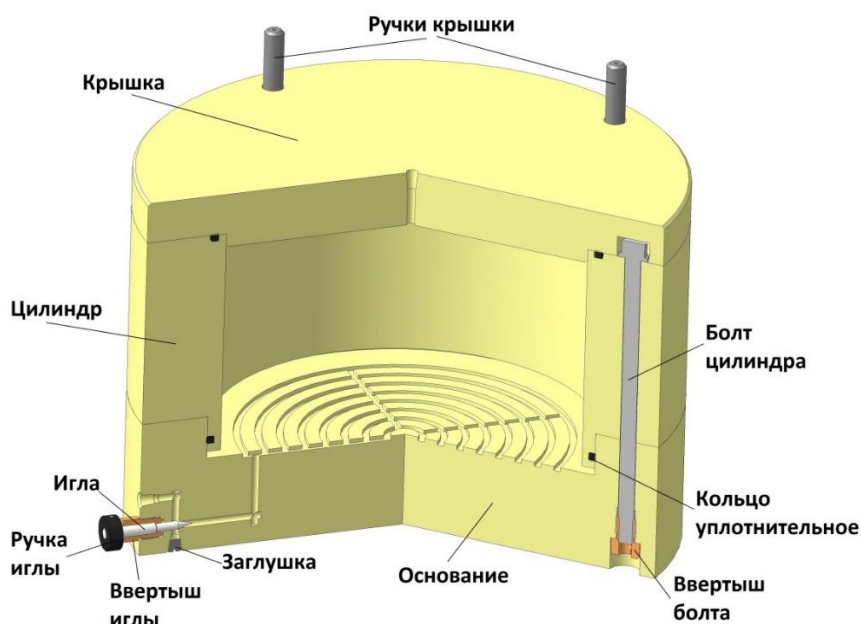


Рис. 1. Принципиальная схема капилляриметра

В капилляриметре используется конусный штуцер, через который давление передается через трубку гидросистеме. Это значительно осложняет процесс изготовления самого метиза и части корпуса, в которой он располагается. Предлагается замена конусного штуцера на цилиндрический, но с покрытием из никелида титана, что будет обеспечивать герметизацию соединения, его фиксацию и простоту изготовления. Отверстие для конусного штуцера необходимо тоже заменить на цилиндрическое, что так же упростит процесс изготовления.

На рис. 2 представлено коническое отверстие в корпусе капилляриметра и конический штуцер.

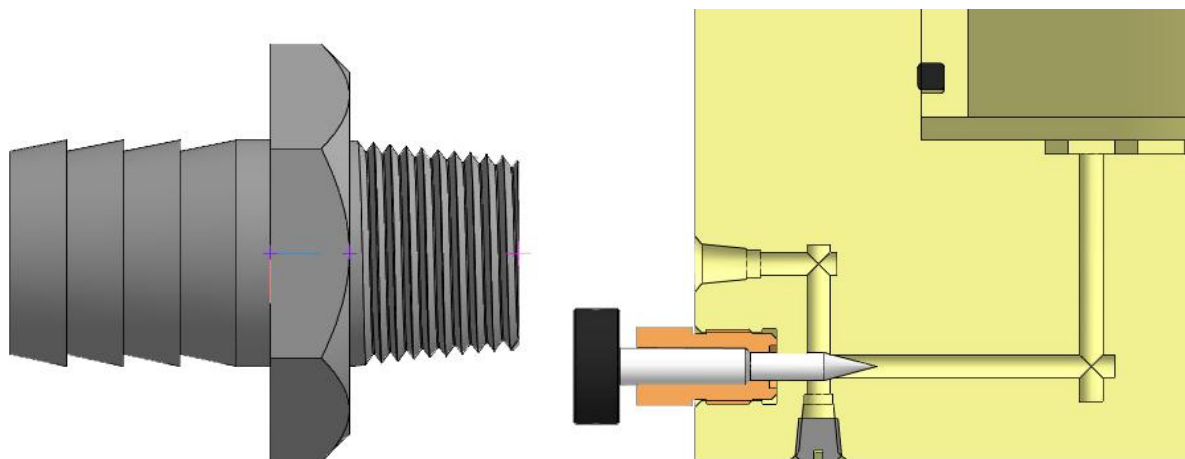


Рис. 2. Конический штуцер и коническое отверстие в корпусе капилляриметра

На рис. 3 представлена предлагаемая замена на цилиндрическое отверстие в корпусе капилляриметра и цилиндрический штуцер.

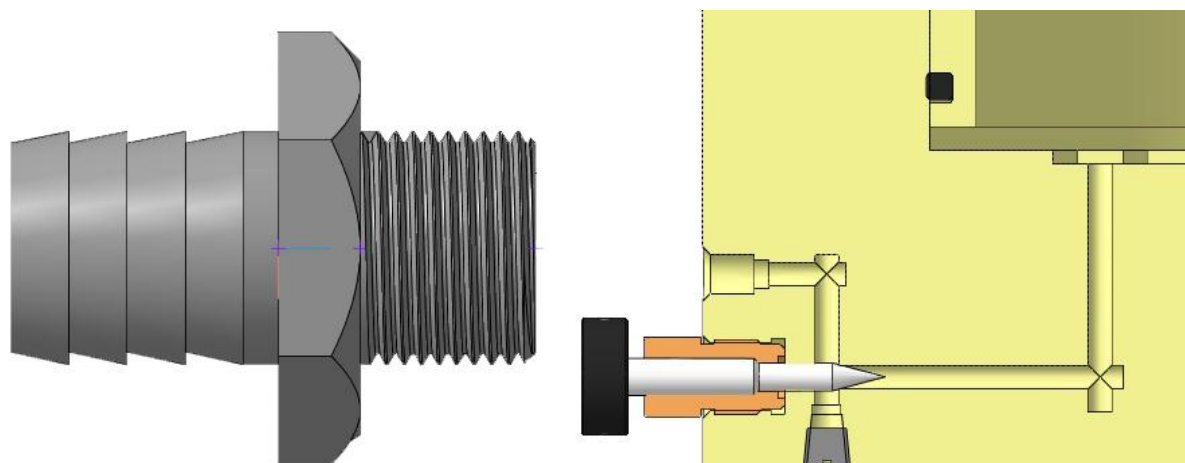


Рис. 3. Цилиндрический штуцер и цилиндрическое отверстие в корпусе капилляриметра

За счет формирования поверхностно-модифицированного слоя резьбы из TiNi-сплава с ЭПФ обычная посадка с зазором метрической резьбы после сборки переходит в посадку с натягом, что позволяет загерметизировать и фиксировать резьбу в условиях вибраций [3].

В 3D-САПР Autodesk Inventor, позволяющей выполнять проектирование, рендеринг и моделирование изделий, были проведены испытания для штуцеров. Определялось максимальное сжимающее напряжение и максимальное напряжение при растяжении. Результаты показали, что конусный штуцер и цилиндрический штуцер с покрытием из TiNi обладают схожими значениями. Цилиндрический штуцер, у которого на резьбу не нанесен сплав с ЭПФ, значительно уступает по значениям. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения максимального напряжения при растяжении максимального и сжимающего напряжения

Вид штуцера	Максимальное напряжение при растяжении, МПа	Максимальное сжимающее напряжение, МПа
Конический	124,1	24,7
Цилиндрический с посадкой с зазором	105,1	11,7
Цилиндрический с посадкой с натягом	125,1	22,7

Стоит отметить, что изготовление конического штуцера и конического отверстия значительно превышает стоимость изготовления цилиндрического штуцера и отверстия. Средства, которые затрачиваются на покрытие резьбы TiNi, не превышают затрат на изготовление конического штуцера. В результате можно сделать вывод, что предлагаемая замена конусного штуцера цилиндрический с покрытием из никелида титана целесообразна.

Список литературы

1. Степаненко, М. А. Структура и свойства поверхностно-модифицированных слоев из сплава с памятью формы на основе никелида титана: автореф. дис. ... канд.техн. наук: 05.02.01 / М. А. Степаненко; КубГТУ. – Краснодар, 2006. – 200 с.
2. Муслов, С. А. Сплавы с памятью формы: свойства, получение и применение в медицине и технике / С. А. Муслов. – Москва : Москва, 2018 – 254 с.
3. Попов, Н. Н. Сплавы с памятью формы / Н.Н. Попов // Атом. – 2010. - №7. – С. 35-39.

УДК 621.794.61

Зыкин П.В.

Математическая модель многоострийного катода

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Выполнен расчет напряженностей электрического поля, полученные результаты позволили установить, что данный показатель складывается из полей

всех острий, влияние поля плоского анода пренебрежимо мало. Предложена физическая модель многоострийного катода, полученная в результате математического расчета площади эмиттирующей поверхности и плотности катодного тока. Полученная математическая зависимость плотности катодного тока является математической моделью представленной разработки.

Abstract: Calculation of electric field strengths is executed, the received results allowed to establish that this indicator consists of fields of all osterias, influence of the field of the flat anode is negligible. The physical model of the multineedle cathode received as a result of mathematical calculation of the area of the emitting surface and density of cathode current is offered. The received mathematical dependence of density of cathode current is mathematical model of the presented development.

Ключевые слова: многоострийный катод, напряженность электрического тока, математическая модель.

Keywords: multineedle cathode, electric field strength, mathematical model

При использовании технологии микродугового и плазменного электролитического анодирования на качество оксидного покрытия оказывает плотность катодного тока. Концентрация потенциала электрического поля отражается на скорости оксидообразования с увеличением твердости и толщины оксида. Данным условиям удовлетворяет применение катода игольчатой формы [1].

Моделирование формы игольчатого катода основано на свойстве «стекания» электрического заряда с острия, что определяет максимальную напряженность электрического поля на острие заряженного проводника.

Чем острее будет заточена игла, тем выше будет эмиттерная способность катода. Для получения острий с минимальным радиусом используют травление в электролитах, которые не взаимодействуют с материалом электрода. Приведенная технология, по оценке [2], позволяет получать радиус острия r_u порядка 10^{-6} м.

Острие отдельно взятой иглы находится под влиянием полей соседних игл и поля зеркального заряда плоского анода.

Оценим степень этого влияния в зависимости от расстояния между иглами h и расстояния от катода до анода H (рис. 1)

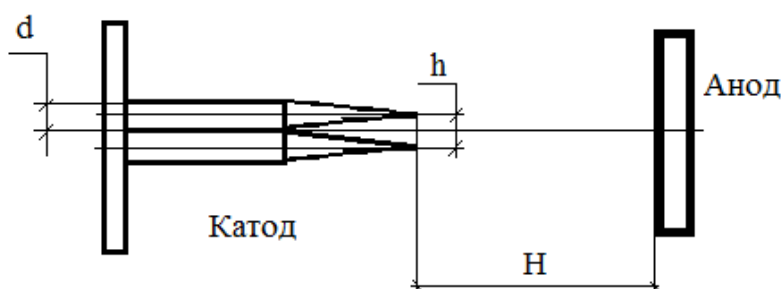


Рис. 1. Схема к расчету напряженности поля иглы катода

Острие иглы заменим сферической поверхностью с радиусом $r_u = 10^{-6}$ м. Напряженность электрического поля в окрестности иглы оценим по зависимости (1) [3]:

$$E = -\frac{U \cdot r_u}{h^2} \quad (1)$$

где U – потенциал катода;
 r_u – радиус сферы острия;
 h – расстояние от центра кривизны сферы острия.

Напряженность электрического поля на поверхности сферы радиуса r_u на основании определится из условия $h = r_u$ по формуле (2):

$$E_1 = -\frac{U \cdot r_u}{h^2} = -\frac{U \cdot r_u}{r_u^2} = -\frac{U}{r_u}. \quad (2)$$

При формирующем напряжении $U = 20$ В напряженность на поверхности иглы составит:

$$E_1 = -\frac{20}{10^{-3}} = -2 \cdot 10^4 \text{ В/мм.}$$

Оценивая влияние напряженности электрического поля острия соседней иглы используя формулу (3), необходимо учесть, что конструктивно минимальное расстояние h будет ограничиваться диаметром иглы катода d , т.е. при расчете исходим из равенства $h = d$:

$$E_2 = -\frac{U \cdot r_u}{h^2} = -\frac{U \cdot r_u}{d^2}. \quad (3)$$

Для значения $d = 1$ мм при формирующем напряжении $U = 20$ В

$$E_2 = -\frac{U \cdot r_u}{h^2} = -\frac{U \cdot r_u}{d^2} = -\frac{20 \cdot 10^{-3}}{1^2} = -20 \cdot 10^{-3} \text{ В/мм.}$$

Рассчитаем напряженность электрического поля зеркального заряда от плоского анода по формуле (4) [3]:

$$E_3 = \frac{U \cdot r_u}{4H^2}, \quad (4)$$

где H – расстояние, измеряемое от плоскости анода.

Для значения $H = 1$ мм формирующем напряжении $U = 20$ В

$$E_3 = \frac{U \cdot r_u}{4H^2} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 1^2} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ В/мм.}$$

Сравнивая значения напряженностей электрического поля, полученные по формулам 2-4, делаем вывод, что:

$$|E_1| = 2 \cdot 10^4 \gg |E_2| = 20 \cdot 10^{-3} > E_3 = 5 \cdot 10^{-3}.$$

Поэтому, несмотря на то, что окрестность острия находится в поле соседних игл и поля плоского анода, на расстоянии радиуса его кривизны $h \sim r_u$ влияние соседних игл и анода пренебрежимо мало. Таким образом, в непосредственной окрестности острия поле определяется только самим острием. В соответствии с принципом суперпозиции напряженность элек-

трического поля многоострийного катода будет определяться суммой напряженностей от всех острий. Конструкцию многоострийного игольчатого катода представленную рис. 2 можно представить в виде многожильного провода, определяющими параметрами которого являются: радиус острия и общее количество игл.



Рис. 2. Физическая модель многоострийного катода

Эффективная площадь эмитирующей поверхности многоострийного катода следует вычислить, используя формулу (5):

$$S_k = N \cdot S_{сф}, \quad (5)$$

где N – количество эмитирующих центров (количество острий);
 $S_{сф} = 2\pi r_u^2$ – площадь поверхности острия (площадь полусферы).

Плотность катодного тока требуется определить по формуле 6:

$$j_k = \frac{A}{S_k} = \frac{A}{N \cdot 2\pi r_u^2}, \quad (6)$$

где A – общий ток в цепи анодирования.

Полученное выражение (6) представляет собой математическую модель многоострийного игольчатого катода.

Выводы

1. При использовании многоострийного катода напряженность электрического поля складывается из полей всех острий, влияние поля плоского анода пренебрежимо мало.

2. При неизменной величине общего тока в цепи анодирования плотность катодного тока можно регулировать количеством острий в конструкции катода и радиусом заточки острия.

Список литературы

1. Патент № 2548841 Российская Федерация, МПК C25D11/12 (2006.01). Способ получения покрытий на деталях из алюминия и его сплавов / Коленчин Н.Ф., Кус-

ков В.Н., Шадрина П.Н., Сафронов А.В.; патентообладатель "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ТюмГНГУ). - № 2013154164/02; заявл. 05.12.2013; опубл. 27.04.2015.

2. Шешин, Е. П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов / Е. П. Шешин. – Москва : Физматкнига, 2001. - 201с.

3. Активные факторы темного электрического разряда между игольчатым катодом и жидким анодом в системе твердый электрод-газ-жидкость / А. В. Гришин [и др.] // Доклады НАН РК. – Москва, 2006. – № 3. – С. 69–74.

УДК 621.644.07

Кинцель П.А., Огудова Е.В.

Сварка металлического трубопровода с трубами ПНД

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В данной статье рассмотрена проблема возможности сварки разнородных материалов, такие как полимерные и стальные изделия. Проанализированы физические и химические свойства материалов.

Abstract: This article deals with the problem of the possibility of welding dissimilar materials such as polymer and steel products. Physical and chemical properties of materials are analyzed.

Ключевые слова: Сварка, Трубопровод, Полимерные изделия, Адгезия, Нефть.

Keywords: Welding, Pipeline, Polymer Products, Adhesion, Oil.

В XX-ом веке, нефтегазовая отрасль начала бурными темпами свое развитие, т.к. нефть и газ, как сырье, стали лидерами в энергетическом и химическом комплексе. Для транспортировки самым популярным методом остаются магистрали трубопровода, которые изготавливаются из металла, но из-за газо-водно-нефтяной жидкости материал приходит в негодность. В XXI-ом веке свою популярность начинает приобретать синтетические полимерные материалы, которые по своим свойствам превосходят изделия из металла.

Так сложилось, что все магистральные трубопроводы изготовлены из металла, как одного из самых стойких и надежных материалов. Однако при соприкосновении с агрессивной средой, неправильной эксплуатацией и без должного технического контроля металл имеет серьезные недостатки. На данный момент срок эксплуатации 70% трубопроводного парка истек и нуждается в немедленной замене. Заменить металлические изделия можно на полимерные трубы, так как срок их эксплуатации в 4 раза больше при правильном использовании, а также они более устойчивы к агрессивной среде и неприхотливей в монтаже.

Сами по себе полимерные трубы состоят из термопластов, разного рода полиэтилена, поливинилхлорида, полипропилена, полиамида, поли-

бутилена. Большинство трубопроводов делают из полиэтилена низкого давления, т.е. изготовление требует соответственно низкое давление от 0,1 до 2 МПа и сравнительно низкой рабочей температуры от 120 до 150°C. Так получается высокоплотный полиэтилен ПЭВП или HDPE. Для того, чтобы выдержать нагрузки возможно применение труб изготовленных из упрочненного композитного материала. Такие трубы содержат напессованный внутренний слой из полиэтилена высокой плотности. Этот слой покрыт армирующим слоем, сформированным из непрерывных волокон, изготовленных из стекла, и непрерывных волокон из термопластического материала, такого как полиэтилен высокой плотности. Эти волокна соединены между собой с помощью нагрева. Армирующий слой покрыт органическим термопластическим материалом, который может быть того же сорта, что и полиэтилен, образующий внутренний слой труб.

Для того, чтобы усилить пластиковую трубу, возможно применение армированного стекловолокна. Стеклоткань, армированная металлической нитью - техническая ткань специального назначения. Ткань производится на основе стеклянного волокна. В процессе производства эти ткани армируются специальной металлизированной нитью (провоолокой) марки v4a для придания большей прочности. Помимо прочности металлическая провоолока придает ткани повышенную температуростойкость. Рабочая температура ткани 600°C, которую она сохраняет длительное время, что значительно больше рабочей температуры обычной стеклоткани (450°C). Обычно стекловолокно размещают по середине полипропиленового слоя, для повышения жесткости. Для стекловолоконных элементов характерен один недостаток, но и он еще полностью не доказан: проникновение через материал кислорода. В случае полного подтверждения этого факта возможен ускоренный процесс коррозии металла, с которым стыкуется магистраль. Теоретически такой минус возможен, а практически – исследования еще проводятся.

Соединить металлический трубопровод с полимерным - задача непростая. Во-первых, различие в кристаллических состояниях. Полимерные соединения состоят в большинстве из углерода, одного из самых распространённых химических элементов. Для того, чтобы сварить эти элементы, нужно разрушить их структуру. Свариваемость происходит благодаря температуре. Во-вторых, температура плавления стали начинается от 1000°C, в то время как пластиковой трубе достаточно 250°C. При сварке пластик попросту начнет испаряться, теряя свою структуру, при этом он не сможет полностью восстановить механические свойства, а стекловолокно не сможет восстановить свою структуру, из-за чего потеряется эффект жесткости у трубопровода. В-третьих, в таких соединениях невысокая прочность соединения на разрыв и скручивание. Также недостатком этого соединения является невозможность его применения в трубопроводах с избыточным давлением транспортируемых сред вследствие того,

что металлические элементы каркаса трубы, продольные и поперечные стержни с торцов после разрезки трубы на мерные длины не защищены от контакта с транспортируемой средой и, следовательно, из-за отсутствия адгезии металлических стержней и полимерной оболочки трубы при избыточном давлении транспортируемой среды неизбежны протечки по зазорам между полимерной оболочкой и металлическими элементами трубы. В-четвертых, на сегодняшний день не существует ни одной теории, которая бы могла точно объяснить все нюансы сцепления разнородных материалов между собой. Если ориентироваться на химическую природу адгезии, то она возникает вследствие химических взаимосвязей разнородных материалов. Существует и молекулярная теория, согласно которой адгезия между разнородными материалами возникает вследствие того, что на межфазной поверхности присутствуют межмолекулярные силы, которые и способствуют сцеплению. По этой же теории, адгезия определяется взаимодействием двух полюсов или возникновением водородных связей между разнородными материалами.

Согласно электрической теории, причиной адгезии является двойной электрический слой, появляющийся при взаимодействии пары тел. В таком слое, который не дает телам отходить друг от друга, формируются электростатические силы притяжения положительных и отрицательных зарядов.

Наиболее признанной среди специалистов является диффузная теория, согласно которой адгезия возникает вследствие формирования межмолекулярных связей между разнородными материалами. В результате на границе соприкосновения двух материалов формируется новый промежуточный слой, и такая граница фактически стирается.

Существует еще и механическая теория, которая объясняет, что адгезия возникает вследствие анкерного сцепления между выступающими частями наносимого покрытия и углублениями в основном материале. В результате такого сцепления образуются так называемые механические замки, которые и обеспечивают адгезию.

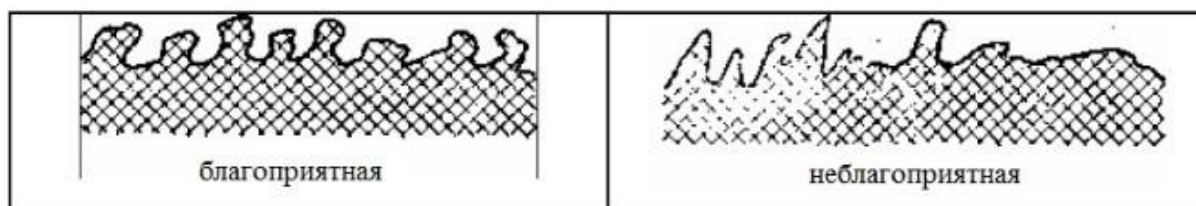


Рис. 1. Для прочного осаждения металла необходима благоприятная структура поверхности пластика

На качество адгезии при металлизации пластика оказывает влияние целый ряд параметров, к которым следует отнести:

- Прочность пластика;
- Наличие и количество химически активных групп на поверхности пластика;

- Наличие промоторов – стимуляторов адгезии, в качестве которых могут выступать пластификаторы, соединения олова и хрома;
- Отсутствие антипромоторов – элементов, которые могут не только ухудшить качество промежуточного слоя, но даже разрушить его;
- Режимы выполнения металлизации.

В ходе всех процессов, выяснили, что трубы из полиэтилена не подходят для сварки.

Исходя из этого можно понять, что пока мы не поймем процесс адгезии, мы вынуждены оставить вопрос открытым. Ведь на данный момент проблемой является и то, что все нефтегазовое машиностроение заточено на изготовлении продукции из металла. Если в скором времени найдётся способ сварки полимерных и стальных изделий, то это может в корне уничтожить данную отрасль, а также все, что с ней связано.

Список литературы

1. ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.04.2013 N 47-ст вводится в действие на территории РФ с 01.08.2013 с правом досрочного применения (ИУС N 7, 2013 год). – 170 с.

2. Дерягин, Б. В. Адгезия твердых тел / Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, В. П. Смилга. – Москва : Наука, 1973. - 279 с.: ил.

УДК 621.91.01

Кузнецов К.Д., Ужегов В.А., Васильев Д.В.

Влияние теплообмена на контактную поверхность инструмента и на стружкодробление

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Получение оптимальных условий для процесса резания, при обработке деталей любой сложности и различным инструментом.

Abstract: Obtaining optimal conditions for the cutting process, in the processing of parts of any complexity and various tools.

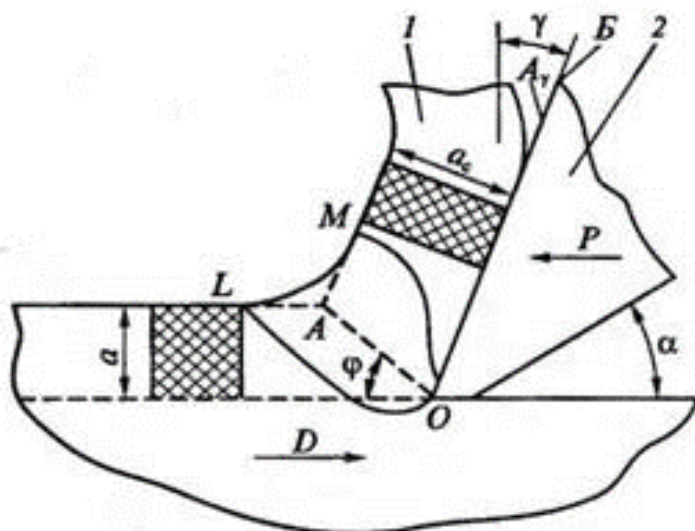
Ключевые слова: Метал, стружка, резание, инструмент, слой, припуск, износ.

Keywords: Metal, chips, cutting, tool, layer, allowance, wear.

Для получения заданных форм и размеров деталей при обработке заготовки режущим инструментом снимается слой металла – припуска. Срезанный слой металл называется стружкой.

Резание металлов осуществляется на металлорежущем станке различными режущими инструментами (резцами, сверлами, фрезами).

Процесс резания осуществляется, как показано на рис. 1 [2]



1 – стружка; 2 – режущий клин;
 a – толщина снимаемого слоя;
 a_c – толщина стружки; A_γ – передняя поверхность режущего клина; γ – передний угол; α – задний угол; φ – угол стружкообразования; OML – зона стружкообразования; P – сила резания; D – направление движения заготовки

Рис. 1. Схема процесса резания

Процесс резания – это не легкий этап обработки металла, он заключается в срезании с заготовки лишнего слоя в виде стружки, с целью получения детали требуемой формы, размеров и шероховатости обработанных поверхностей, при данной обработке возникают следующие явления: износ режущего инструмента, наклеп обработанной поверхности, за счет высокой температуры возникают большие деформации срезаемого слоя. Образование стружки осуществляется под воздействием режущего инструмента на срезаемый слой металла, благодаря относительно движению обрабатываемой детали и режущего инструмента на обрабатываемом станке. [3]

Срезаемый слой металла значительно деформируется под воздействием режущего инструмента, трения и температурных явлений, отделяясь от основной массы, где уже в виде стружки, перемещается по передней грани используемого инструмента.

Классификация стружки по видам, показано на рис. 2. [3]

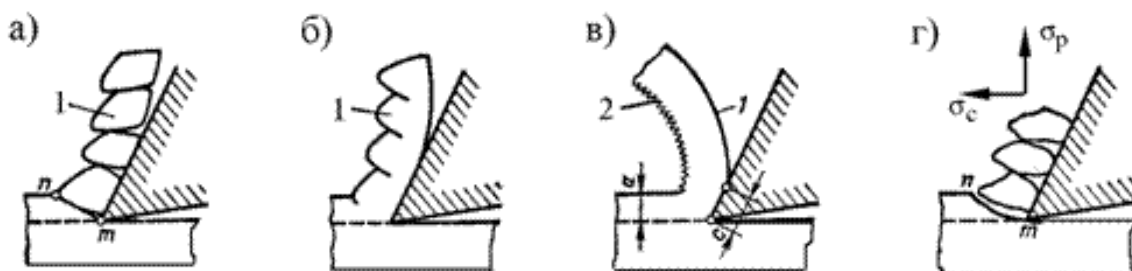


Рис. 2. Виды стружек: а) элементарная; б) суставчатая; в) сливная; г) надлома

Чтобы обеспечить стружколомание нужно изменить радиусную форму передней поверхности резца или стружколомающих отступов, выточенных параллельно главной режущей кромке. У припаянных к ней пластинок можно изменять угол, путем применения накладных стружколома-

телей при плоской форме передней поверхности. Стружка может ломаться как сама, так и при соприкосновении с инструментом или деталью. Эффективное дробление стружки обеспечивается комплексом всех влияющих факторов: правильным выбором стружколома, сплава, покрытия, СОЖ.

Способы стружколomания:

1. Сборные стружколомающие резцы;
2. Кинематическое стружколomание;
3. Специальные типы заточек передней грани резцов;
4. Накладные скружколомы;

На рис. 3, представлен способ стружколomания. [3]

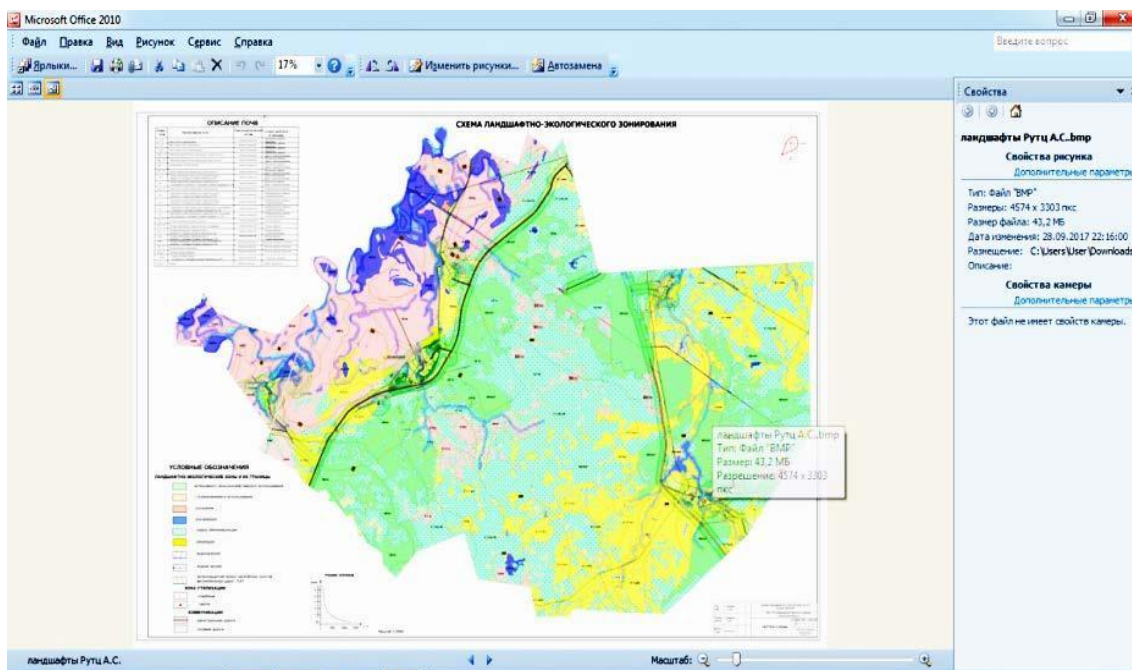


Рис. 3. Основной способ стружколomания

Подробное изучение законов распространения теплоты в зоне резания помогает разобраться в регулировании температур, возникающих на контактных поверхностях инструмента. Было показано, как такое регулирование может быть достигнуто путем изменения теплофизических свойств и положения режущей пластинки.

Во многих случаях более доступным способом является регулирование длины контактных поверхностей инструмента. М.И. Клушин предложил применять резцы с укороченной передней поверхностью, как показано на рис.4 [4]

Особенность процесса резания инструментами с укороченной передней поверхностью являются также меньшие, чем обычно, коэффициенты усадки стружки. В.С. Кушнер [2] формулу для расчета коэффициента усадки стружки при резании сталей в виде $k \approx \sqrt{1 + \frac{f}{\alpha}} - \cos \gamma$, где α – толщина стреза.

Эксперименты, проведенные резцами с $\gamma = -10^\circ$, показывают, что вблизи режущей кромки имеют место касательные напряжения.

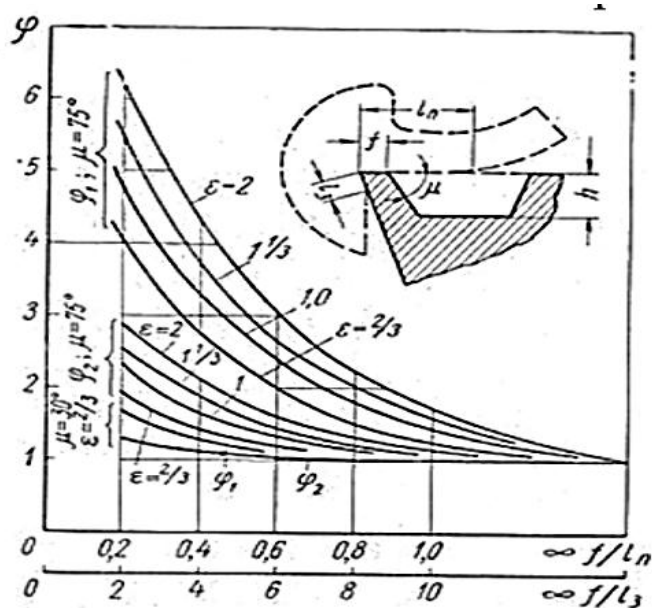


Рис. 4. Поправочные коэффициенты φ_1 и φ_2 в зависимости от размеров конфигурации и фаски канавки режущего инструмента с укороченной поверхностью

Так как в нашем случае нормальные нагрузки на заторможенный слой (нарос), имеющий клиновидную форму, а также трение нароста о поверхность резания, создают силы, перемещающие этот слой по направлению к кромке, а может быть и далее — под заднюю поверхность резца.

Конструировать переднюю поверхность режущего инструмента следует, так что бы она не ослаблялась при этом, увеличивая поперечное сечение стружки разного коэффициента усадки. Если это возможно, то нужно ограничить длину контактной площадки инструмента на задней поверхности.

Данное введение позволит ограничить значимый рост температуры при обработке на задней поверхности, следовательно, при наименьших температурах инструмент прослужит более длительное время.

Список литературы

1. Артамонов, Е. В. Методы учёта надёжности в методике оценивания качества сборных металлорежущих инструментов / Е. В. Артамонов, Д. С. Василега, М. С. Остапенко // Актуальные проблемы современного машиностроения. Сборник трудов Международной науч. – практ. конф. - Юргинский технологический институт, 2014. - С. 243-247.
2. Кушнер, В. С. Основы теории стружкообразования: учеб. пособие в 2 кн. / В. С. Кушнер. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 1996. – 130 с.
3. Нодельман, М. О. Стружколомание при токарной обработке / М. О. Нодельман. – Челябинск : Книжное издательство, 1963. - 120 с.
4. Резников, А. Н. Тепловые процессы в технологических системах. / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – Москва: Машиностроение, 1990. – 288 с.

Порождающее проектирование и топологическая оптимизация в сфере транспортировки углеводородных ресурсов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Главная из основных научных и технических проблем современного машиностроения – это решение задачи экономических затрат материальных, трудовых и энергетических ресурсов. Одним из решений уменьшения использования материальных ресурсов является применение передовых разработок науки и техники.

Abstract: The main of the main scientific and technical problems of modern engineering is the solution of the problem of economic costs of material, labor and energy resources. One of the solutions to reduce the use of material resources is the use of advanced developments in science and technology.

Ключевые слова: Оптимизация, проектирование, Inventor, опора, трубопровод, конструкция.

Keywords: Optimization, design, Inventor, support, pipeline, construction.

В настоящее время ни для кого не секрет, что в современном мире, когда технологии стремительно меняют как повседневную жизнь, так и область промышленного производства, одной из ключевых задач для предприятий становится выпуск более качественной и конкурентоспособной продукции. При этом требования к отдельным узлам и агрегатам, в том числе и достаточно ответственным, со временем могут только расти. Так, например, это характерно для аэрокосмической, автомобильной, железнодорожной и в целом транспортной индустрии, где требования облегчения изделия по массе при сохранении прежних прочностных характеристик достаточно важны.

Существует достаточное количество систем автоматизированного проектирования (САПР) для решения поставленных целей и задач, но в данном случае проект предусматривает использование функционала программы Autodesk Inventor для решения выявленной проблемы. Данная программа представляет собой современную САПР, в которой для оптимизации конструкции изделия существует специализированный модуль – Генератор форм. Генератор форм позволяет автоматически сгенерировать оптимальную форму детали, исходя из заданного пользователем набора креплений, нагрузок и прочих граничных условий.

Можно использовать Генератор форм для исследования проектных возможностей на раннем этапе проектирования, и для оптимизации формы и веса уже спроектированных деталей.

Подготовительный этап подразумевает определение следующих основных параметров: точек фиксации изделия, величины и места приложения нагрузок, областей, которые не будут затронуты в ходе оптими-

зации, и непосредственно результатов вычислений – точного значения массы либо ее желаемого снижения в процентах. После задания граничных условий мы запускаем расчет. По завершении вычислений программное обеспечение дает нам ответ в виде рекомендаций по тем областям, которые мы можем безболезненно удалить.

После выполнения расчета инструмент создания форм позволяет выполнить следующие операции:

- Применять нагрузки и зависимости, которые отражают реальные условия использования продукта.
- Управлять выбором места и способа оптимизации геометрии, чтобы сохранять минимальную толщину материала. Указывать так называемые зоны запрета и зоны сохранения симметричности.
- Использовать созданные формы в качестве ссылочной геометрии в среде проектирования.

В качестве исходных данных было принято решение реализовать функционал программы на примере оптимизации конструкции неподвижной опоры ОСП-500-Р2-Ш-У16-ХЛ1-АКП. Внешний вид опоры представлен на рисунке 1, 3D модель построена в Autodesk Inventor.

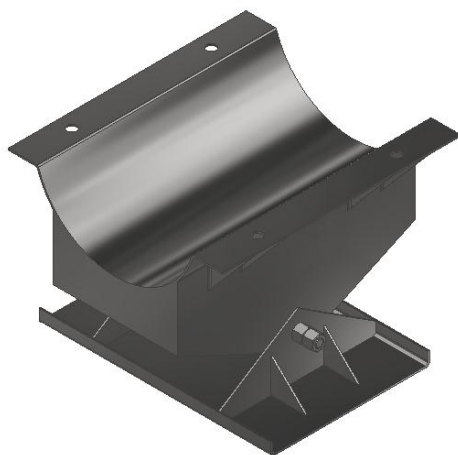


Рис. 1. Опора трубопровода

Следующим этапом в проектировании усовершенствованной конструкции данной опоры это анализ напряжений при рабочих нагрузках. По ОСТ 34-10-616-93 рабочая нагрузка давления на опору равняется 315 кН. Прежде чем произвести анализ напряжения необходимо задать ограничивающие условия. В данной опоре фиксированной геометрией будет основание опоры, которое необходимо монтажа опоры. Так же необходимо задать материал, используемый для изготовления опоры, в данном случае в роли материала выступает сталь марки 09Г2С. Расставленные нагрузки и ограничения изображены на рисунке 2. В данном случае, для расчета было принято решение использовать только подушку опоры нефтепровода.

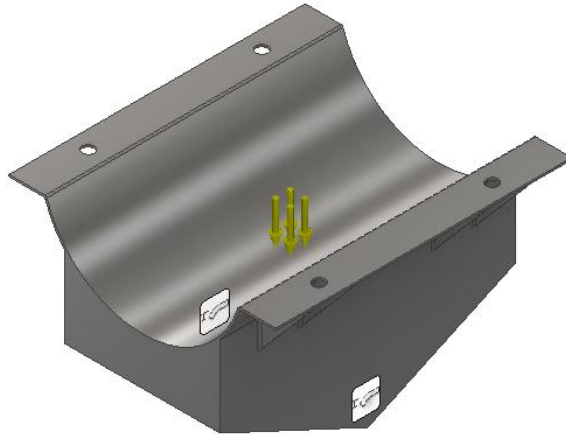


Рис. 2. Ограничивающие условия для анализа напряжений

После определения ограничивающих условия необходимо запустить процесс анализа напряжений при рабочей нагрузке. Результаты анализа представлены на рисунке 3, на рисунке отображено значение максимального напряжения поверхности, к которой приложена нагрузка.

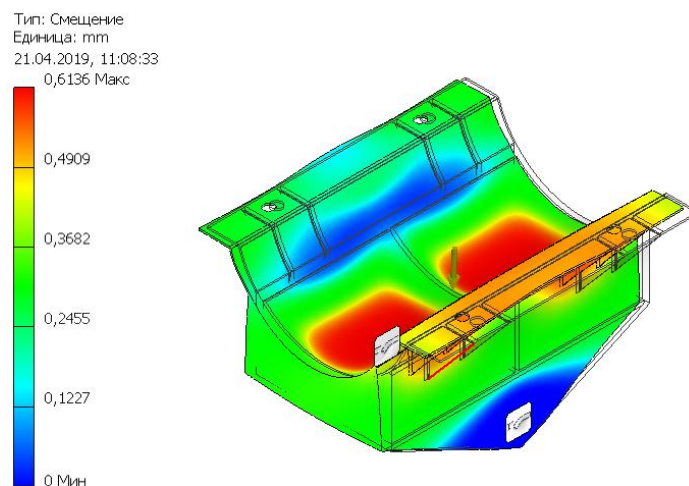


Рис. 3. Результат анализа смещения от нагрузки

Данный расчет необходим программе для расчета формы детали при генерации формы. Так же при генерации формы необходимо задать условия генерации формы. Так как основание опоры необходимо для правильного крепления детали при генерации формы необходимо сохранить данную область. Так же есть необходимость сохранить угловые стыки изделия для выполнения сварочных работ.

В программном обеспечении Autodesk Inventor сохранение формы осуществляется ограничивающим кубом или цилиндром, при попадании в область которых материал детали не будет осуществлен процесс изменения формы.

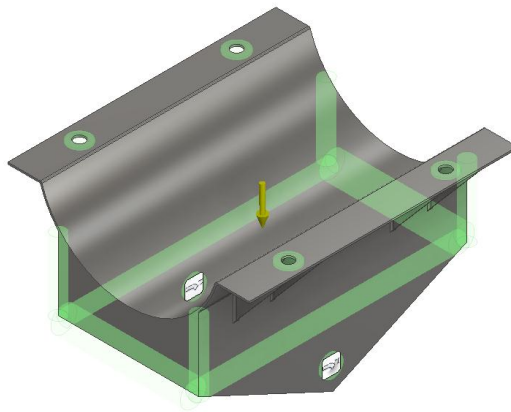


Рис. 4. Области сохранения формы

Исходные данные при генерации формы является масса объекта. Масса опоры до генерации формы составляет 87,3 кг, параметр уменьшения массы задается пользователем, в данном случае параметр сокращения массы выставлен на 60%, то есть ориентировочная масса изделия будет составлять порядка 35,1 кг. Результат генерации формы представлен на рисунке 5. На рисунке изображен результат в виде сетки, где программа дает нам рекомендации по удалению материала.

Исходная масса: 87,3 кг
Создать массу: 35,1 кг
Уменьшение массы: 60%

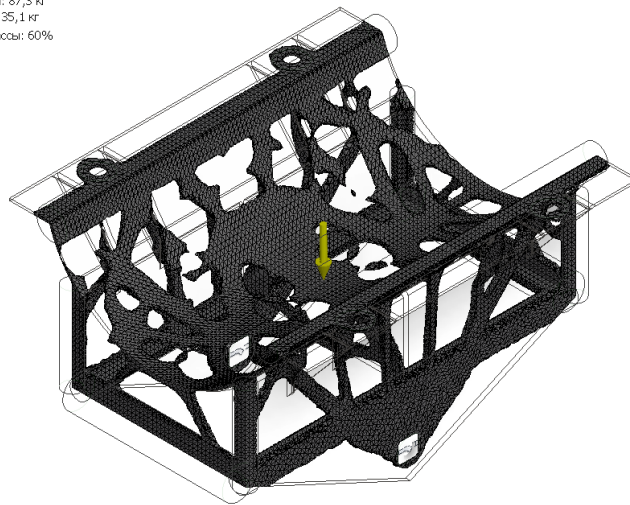


Рис. 5. Результат оптимизации конструкции

Напомним, что результат генерации формы в данном САПР носит рекомендательных характер. Далее необходимо в классическом режиме моделирования удалить лишние поверхности из начального твердого тела в соответствии с предложенными программой рекомендациями.

Из данного примера видно, что топологическая оптимизация требует наличия предварительно смоделированной детали. Следуя рекомендациям, построим оптимизированную версию опоры и произведем повторный прочностной анализ. Вес перестроенной модели опоры составляет 68кг, что на 23% меньше исходной массы.

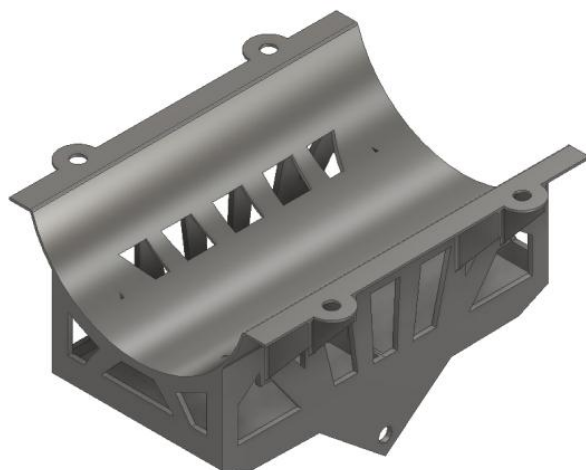


Рис. 6. Модель после оптимизации конструкции

Для проверки полученного результат необходимо произвести контрольный прочностной анализ детали, данный анализ позволит скачать, что после изменения конструкции и потере в массе - деталь незначительно теряет свои прочностные свойства и выполняет те же функции, что и деталь до оптимизации.

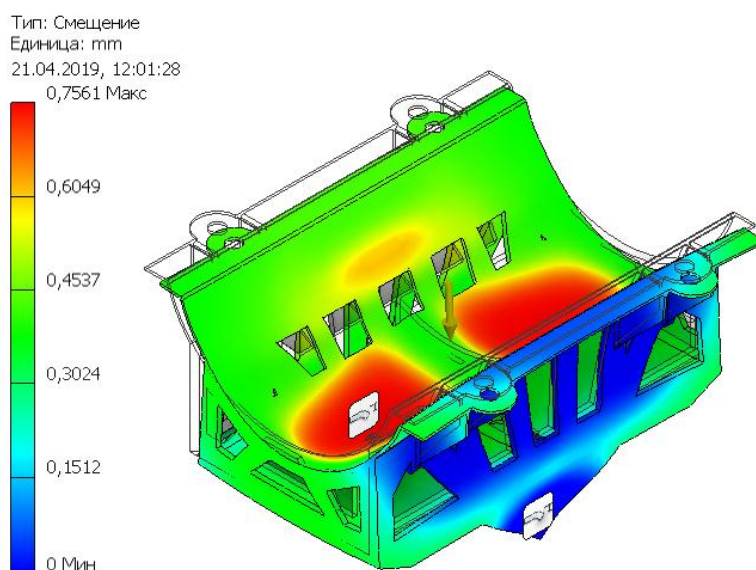


Рис. 7. Анализ смещения от нагрузки

Таким образом, можно сделать вывод, что использование технологии оптимизации конструкции в ходе проектирования изделий позволяет существенно экономить на материале для изготовления деталей.

Список литературы

1. Зиновьев, Д. В. Проектирование в Autodesk Inventor / Д. В. Зиновьев. – Москва : Издательские решения, 2015. – 457 с.

Оборудование для сварочных работ при монтаже резервуаров

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В статье поднята тема современного оборудования для сварки резервуаров. Рассмотрено новейшее оборудование, применяемое в полевых условиях, позволяющее механизировать сварочный процесс.

Abstract: The article raised the topic of modern equipment for welding tanks. The latest equipment used in the field, allowing to mechanize the welding process

Ключевые слова: стальные резервуары, автоматическая сварка, горизонтальные швы, оборудование для сварки.

Keywords: steel tanks, automatic welding, horizontal seams, welding equipment.

Применяемая в настоящее время технология сборки и сварки резервуаров имеет крайне низкий уровень автоматизации сборочно-сварочных процессов, что невозможно в полевых условиях; а также высокую степень использования ручного труда, что в итоге проявляется на производительности, дополнительных затратах, и качестве собранной конструкции, и особо тяжелыми условиями труда работников предприятия. В современных экономических условиях для успешной конкурентной борьбы любому предприятию необходимо, с одной стороны, снижать затраты на производство продукции, а с другой – обеспечивать ее высокое качество.

Для этого было изобретено вспомогательное оборудование, позволяющее механизировать самые трудоемкие и тяжелые операции.

Установка автоматической сварки кольцевых швов AGW представляет собой специальный самоходный сварочный механизм для сварки под флюсом, разработанный для выполнения горизонтальных швов при изготовлении в полевых условиях цилиндрических конструкций: нефтяных и газовых резервуаров. Установка состоит из рамы, на которой монтируется место для оператора, сварочный узел, система подачи и рециркуляции флюса, блоки управления сварочным процессом и перемещением установки. В качестве сварочной части используется комплект оборудования для автоматической сварки под флюсом компании Lincoln Electric, включающий сварочную головку NA-3SF, контроллер NA-3S и источники сварочного тока DC600 или DC1000. Сварочный узел конструктивно представляет собой сварочную горелку, имеющую широкую степень пространственной регулировки, с системой подачи флюса к месту сварки. К месту сварки флюс поступает по ленточному конвейеру. В свою очередь, на конвейер флюс подаётся системой подачи и рециркуляции флюса. Неиспользованный флюс поступает обратно в систему рециркуляции, где очищается от пылевидных фракций и металлических включений и направляется в бункер для повторного использования. Выпускается не-

сколько моделей установки AGW. AGW-I/AGW-II перемещается по верхнему краю вновь установленного пояса листов, приваривая его к предыдущему, расположенному непосредственно под ним (сооружение резервуара методом «наращивания»). Швы выполняются встык. Система AGW-I осуществляет одностороннюю, а система AGW-II – двухстороннюю сварку. Установка оснащена мощным двойным приводом, обеспечивающим плавное перемещение установки. После сварки очередного яруса система поднимается краном, производится установка и прихватка следующего ряда листов, и сварка повторяется. AGW-I-LNG/AGW-II-LNG предназначены для односторонней или двухсторонней сварки резервуаров с двойной стенкой для хранения сжиженных газов. AGW-I-D - универсальная модель. Применяется как для строительства традиционным методом «наращивания», так и в тех случаях, когда сваренные пояса листов поднимаются вверх на домкратах, а новый пояс приваривается снизу (сооружение резервуара методом «подращивания»). AGW-P - портативная модель. Система состоит из рамы, на которой монтируется сварочный узел и малогабаритная система рециркуляции флюса. Перемещение установки осуществляется по рельсу, который устанавливается на резервуаре. Для оператора устанавливаются специальные мостки.

Таблица 1

Характеристика установок автоматической сварки кольцевых швов

Модель	Назначение	Диаметр свариваемых конструкций	Толщина свариваемого листа, мм	Скорость сварки мм/мин	Высота свариваемых листов, м	Диаметр проволоки, мм	Вес, кг
AGW-I	Обычные резервуары, емкости	мин. 4,5 м	8-45	100 - 2 900	1,5-3,2	2,4 3,2 2 х 1,6 (сварка двойной проволокой)	950
AGW-II							1800
AGW-I-LNG	Резервуары с двойной стенкой для хранения сжиженных газов				2,0 -4,5		900
AGW-II-LNG							1770
AGWI-D	Универсальная установка, применяющаяся для изготовления резервуаров методом «наращивания» и «подращивания»				1,5-3,2		1100

AGW-I mini	Малогобаритная установка, для сварки небольших резервуаров с тонкими стенками				1,6-3,2		500
AGW-P	Малогобаритная установка, перемещение осуществляется по специальному рельсу, устанавливаемому на резервуаре	внешний шов - мин. 2 м внутр. шов - мин. 4,2 м			-		350

Для осуществления строительства резервуаров методом «подрачивания» мы предлагаем гидравлическую систему подъема резервуара, которая включает:

- гидродомкраты грузоподъемностью 5 т (ход штока 2600 мм, скорость подъема 220 мм/мин, вес 400 кг);
- дополнительные стойки, растяжки, соединительные детали;
- гидростанции;
- рукава высокого давления;
- систему синхронизации подъема (опция).

Система строится по модульному принципу. В один модуль входит пять гидроцилиндров и одна гидростанция. Расстояние от гидростанции до гидроцилиндра не должно превышать 6 м. Система сохраняет работоспособность при температуре окружающей среды от -5 до +600 С.

Для выполнения вертикальных швов при изготовлении резервуаров используются разнообразные способы сварки и различное оборудование. Выбор во многом определяется толщиной свариваемых листов. При малых и средних толщинах (до 40 мм) применяется многопроходная полуавтоматическая сварка. Сварка осуществляется с помощью каретки, оснащенной колебательным механизмом (осциллятором) и перемещающейся по жесткой направляющей, крепящейся к стенке резервуара с помощью постоянных магнитов. Для удобства контроля сварочного процесса может использоваться специальный подвесной балкон с поднимающейся платформой.

Список литературы

1. Николаев, Г. А. Сварные конструкции. Технология изготовления. Автоматизация производства и проектирование сварных конструкций / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров: учеб. пособие. – Москва : Высшая школа, 1983. – 344 с.

2. Резервуары для хранения нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов / В. В. Новоселов [и др.]. – Москва : ОАО «Издательство «Недра», 1999. - 365 с.

3. Нефтехранилище [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. – Режим доступа: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2264396.

4. Сварка труб и резервуаров [Электронный ресурс] // Энциклопедия по машиностроению. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/671486/>.

5. Сварка-резервуар [Электронный ресурс] // Большая энциклопедия нефти и газа. – Режим доступа: https://www.ngpedia.ru/id410222p1.html_

УДК 621.774

Миллер Л.Ю., Собчук А.В., Торопов В.С.

Сварка трубопроводов в условиях крайнего севера

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: в статье поднята тема сварки стальных трубопроводов. Рассмотрены виды и методы сварки, способы подогрева металла которые используются на данный момент, а также предложены новые способы подогрева металла для улучшения свариваемости.

Abstract: the article raised the topic of welding steel pipelines. The types and methods of welding, methods of heating used at the moment, and also new ways of heating the metal to improve weldability are considered.

Ключевые слова: стальные трубопроводы, методы сварки, виды подогрева.

Keywords: steel pipelines, welding methods, types of heating.

Магистральные трубопроводы, резервуары и другие конструкции в районах крайнего севера, тундры, болот, переувлажненных участков наиболее удобно сооружать зимой, когда мороз сковывает грунт и эти районы становятся проходимыми для транспорта и всей сварочно-монтажной техники. Зимние условия способствуют планомерному ведению работ. Производство монтажно-сварочных работ в зимнее время имеет свои объективные особенности, связанные с отрицательной температурой воздуха, наличием ветров и обильных снегопадов, которые оказывают существенное влияние на качество сварных конструкций. В зимних условиях стыки трубопроводов, резервуаров и других конструкций сваривают при температуре, как правило, не ниже $-50 - 60$ °С.

Низкие температуры оказывают существенное влияние на процесс сварки. Скорость охлаждения и кристаллизации металла сварочной ванны с понижением температуры сварки повышается, в результате чего увеличивается насыщение металла газовыми и шлаковыми включениями, не успевшими всплыть на поверхность и перейти в шлак.

Повышенный отвод тепла от сварочной ванны и увеличение содержания в ней газов (водорода, кислорода и др.) могут привести к образова-

нию горячих и холодных трещин в сварном соединении. Кроме того, ухудшается проплавление охлажденного металла и увеличивается возможность образования не проваров. На кромках свариваемого металла и на электродах возможна конденсация малозаметной влаги, что также приведет к увеличению содержания водорода в наплавленном металле.

С понижением температуры сталь становится все более чувствительной к концентраторам напряжений; ими могут быть мельчайшие внутренние и внешние дефекты наплавленного металла, которые в условиях отрицательных температур могут привести к образованию трещин. Еще большее влияние на образование трещин могут оказать более значительные концентраторы напряжений, такие, как резкие изменения сечений элементов сварного соединения, сосредоточение сварных швов, резкие переходы от наплавленного к основному металлу, не заваренные кратеры, прерывистые швы, замкнутые контуры сварных швов и др. В условиях низких температур сварщик должен уделять повышенное внимание правильному ведению процесса сварки.

Сварку сталей при низких температурах следует выполнять с соблюдением ряда мероприятий, направленных на снижение остаточных сварочных напряжений и уменьшение степени закалки сварного соединения.

Основные из этих мероприятий:

1. По возможности защищать рабочее место сварщика от ветра и атмосферных осадков.

2. Обеспечить тщательную сборку конструкций под сварку. Свариваемые кромки тщательно зачищать.

3. Обеспечить максимальную свободу перемещения элементов конструкции от усадки швов, т. е. сборку конструкций выполнять при помощи приспособлений, по возможности избегая прихваток.

4. Применять электроды с хорошими технологическими свойствами, не склонные к образованию пор в наплавленном металле, обеспечивающие повышенную пластичность и ударную вязкость его. Для сварки при низких температурах предпочтительны электроды типов Э42А, Э46А, Э50А с основным покрытием. Электроды тщательно прокалить. Прокаленные электроды хранить в герметичной таре, пеналах или в полиэтиленовой пленке.

5. Сварку вести при повышенной погонной энергии дуги за счет увеличения сварочного тока на 10—15% и уменьшения скорости перемещения дуги вдоль кромок.

6. В первую очередь сваривать швы, дающие максимальную усадку (например, поперечные стыковые швы). Начало и конец шва следует, как правило, выводить за пределы свариваемых конструкций на начальные и выводные планки.

7. Сварку вести до выполнения швов проектного размера без прерывов, за исключением времени, необходимого на смену электро-

дов. В случае вынужденного перерыва сварку возобновлять после подогрева основного металла в соответствии с разработанным технологическим процессом.

8. Стремиться к максимальному уменьшению объема наплавленного металла. Избегать концентрации напряжений в виде чрезмерных усилий шва, резких переходов, пересечений швов, не проваров. Угловые швы выполнять с наименьшей выпуклостью. Сварку многослойных швов выполнять «каскадом», «горкой», секциями.

9. При сварке сталей, склонных к закалке, применять предварительный, сопутствующий, последующий подогрев.

На данный момент для улучшения сварного соединения используют следующие виды подогрева:

- индукционный подогрев труб
- электронагреватели комбинированного действия
- многопламенный подогреватель стыков

Защита рабочего места сварщика

Очевидно, что создание комфортных для человеческого организма условий в зимнее время года трудноосуществимо. Однако для монтажа и, что важнее, для сварки необходимы те самые благоприятные условия. Помимо специального оборудования для подогрева металла, которое необходимо для обеспечения надежности шва, следует учитывать и атмосферные осадки, которые также могут оказывать пагубное влияние на качество сварных соединений. Поэтому в таких условиях прибегают к помощи специальных укрытий сварщика, которые предназначены для оптимальных условий проведения сварочных работ.



Рис. 1. Защита рабочего места сварщика

Индукционный подогрев труб

Установки индукционного нагрева труб предназначены для безконтактного предварительного и сопутствующего подогрева труб в про-

цессе сварки. Также установки применяются при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов, когда возникает необходимость отпуса кольцевых сварных соединений или нагрева наружной поверхности трубопровода перед нанесением полимерной изоляции.

Данная установка позволяет нагревать трубы до высокой температуры 300-350С за счет электромагнитных волн, при этом сам индуктор практически не нагревается. Электромагнитное поле создает вихревые потоки внутри изделия, возбуждая молекулы металла и производя нагрев участка трубопровода.

Поскольку нагревание происходит внутри металлической поверхности, эффективность такого нагрева достаточно высока и максимально безопасна для использования.



Рис. 2. Индукционный подогрев труб

Электронагреватели комбинированного действия

Электронагреватели комбинированного действия (сопротивления плюс индукционный) выполнены в виде провода из пяти нихромовых проволок, на которые надеты керамические изоляторы. Рабочий ток 250 А, что позволяет использовать в качестве источников питания сварочные трансформаторы. Поверх электронагревателя укладывают теплоизоляционные маты.

Принцип работы заключается в использовании нагрева методом сопротивления в сочетании с методом индукционного нагрева токами частоты 50 Гц, причем основным по эффективности является нагрев методом сопротивления

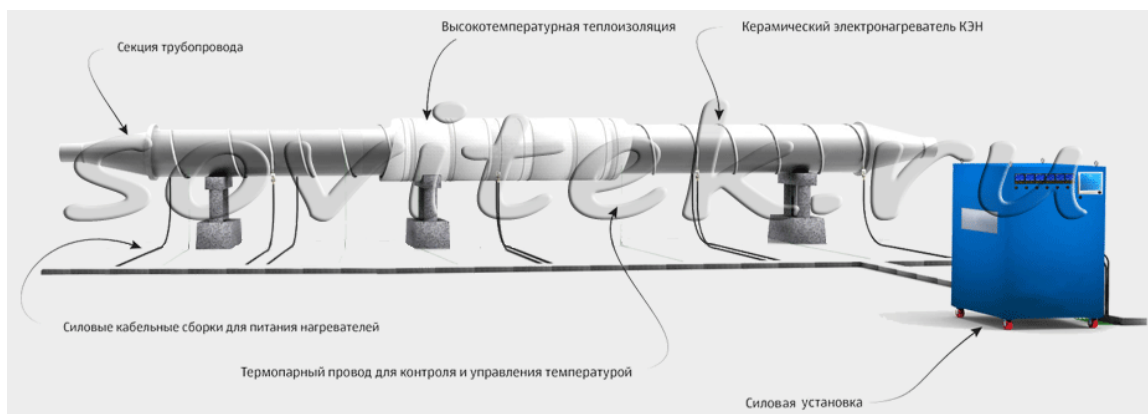


Рис. 3. Электронагреватель комбинированного действия

Многопламенный подогреватель стыков

Подогреватели стыков труб ПСТ (кольцевые горелки) предназначены для предварительного подогрева неповоротных стыков труб диаметром от 108 до 1420 мм перед их сваркой на трассе строительства трубопроводов при температуре окружающего воздуха от минус 40°С.

Подогреватель представляет собой многопламенное устройство и состоит из двух полуколец с расположенными на них инжекторными газовыми горелками работающими на сжиженном или природном газе. Нагрев осуществляется открытым пламенем с использованием баллонного газа. Давление газа, подаваемого на горелки обеспечивается подключением к пропановому баллону через газовый редуктор. Подогреватели позволяют разогревать трубу до 300-350С. Температура подогрева контролируется термокарандашом или контактным термометром.



Рис. 4. Многопламенный подогреватель стыков

Для того чтобы улучшить качество сварного соединения мы предлагаем подогревать трубу не только в месте соединения, но и подогревать металл вблизи стыка кольцевыми горелками, что позволит увели-

чить площадь нагретой поверхности. Эта процедура предназначена для того, чтобы металл охлаждался с меньшей скоростью, более плавно, постепенно. Такой способ позволит производить процесс сварки более благоприятно для металла и поспособствует уменьшению вероятности образования дефектов.

Список литературы

1. Малышев, Б. Д. Сварка при низких температурах [Электронный ресурс] // Б. Д. Малышев, В. И. Мельник, И. Г. Гетия // bibliotekar.ru. – Режим доступа: <http://bibliotekar.ru/spravochnik-17/index.htm>

УДК 624.953

Некрасов Н.А., Марганов Р.Р., Дорофеев С.М., Попова А.А.

Ремонт вертикальных стальных резервуаров

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В статье поднята тема надежности вертикальных стальных резервуаров. Рассмотрены причины и виды дефектов разрушающих резервуары, методы неразрушающего контроля, частота проведения диагностики, способы ремонта используемые в настоящее время и предложен новый способ восстановления поврежденных поверхностей.

Abstract: The article raised the topic of reliability of vertical steel tanks. The causes and types of defects destroying reservoirs, methods of non-destructive testing, the frequency of diagnostics, methods of repair currently used and a new way to restore damaged surfaces are considered.

Ключевые слова: стальные резервуары, методы контроля, дефекты резервуаров, диагностика, ремонт резервуаров

Keywords: steel tanks, control methods, tank defects, diagnostics, repair of tanks.

Резервуары – это сосуды, которые предназначены для хранения, приема и отпуска различных жидкостей, они бывают разных типов в зависимости от геометрических размеров и геометрической формы, мы же рассмотрим вертикальные стальные резервуары. Их надежность является важнейшим свойством объектов используемых в области хранения углеводородного сырья. Поэтому очень важно понимать, как ее обеспечить, чтобы в этом разобраться надо знать, что этот термин обозначает и что в него входит. Надежность – это свойство объектов сохранять заданные параметры, характеризующие способность выполнять свои функции в заданных режимах и условиях технического обслуживания, применения, транспортировки и хранения в пределах определенного времени. Этот термин является комплексным свойством, которое может включать в себя, в зависимости от назначения объекта, такие понятия, как безотказность, ремонтпри-

годность, долговечность, сохраняемость или некоторые сочетания этих свойств. Нашей целью было подробнее рассмотреть такое свойство, как ремонтпригодность – это качество объекта, состоящее в приспособленности к восстановлению и поддержанию работоспособного состояния путем ремонта и технического обслуживания. Чтобы понять, как совершать ремонт вертикальных стальных резервуаров сначала нужно разобраться какие бывают дефекты, основные причины их появления и как их диагностировать. Износу подвержены конструктивные элементы резервуаров, в них возникают очаги местной коррозии, наиболее опасным элементом подверженным разрушению является днище, так как оно является наиболее тонкой частью конструкции и постоянно контактирует с подтоварной водой, которая насыщена химически активными элементами ускоряющими этот процесс, помимо этого во время их использования возникают такие дефекты, как просадка основания и как результат деформируется стенка, в свою очередь отсюда происходят нарушения плотности и прочности сварных швов, трещины днища, стенки и крыши резервуаров. Дефекты могут возникать на всех этапах производства резервуаров: от металлопроката, на стадии изготовления материала для производства, до дефектов, возникающих в результате монтажных работ. Поэтому каждый этап производства должен быть проинспектирован полной и частичной диагностикой в зависимости от состояния, условий и факторов эксплуатации. Рассмотрим основные причины и виды разрушения резервуаров в таблице 1.

Таблица 1

Причины разрушения резервуаров

Причины	Виды
Некачественный контроль качества строительного-монтажных работ	
Стихийные бедствия	Землетрясения Ураганы Гроза
Заводские и монтажные дефекты	Непровары Подрезы Дефекты проката Шлаковые включения Использование некачественных электродов Вмятины Выпучины Несоблюдение проектного размера катета сварного шва
Нарушения правил технической эксплуатации	Нарушение технологии производства Нарушение сроков технических осмотров Нарушение правил противопожарной безопасности
Объективные факторы	Влияния низких температур Коррозионный износ днища Вибрация резервуара Осадка оснований

Полная и частичная диагностика должны проводиться не только после введения резервуара в эксплуатацию, а с момента изготовления металлопроката. Полная диагностика резервуара должна осуществляться минимум один раз в 10 лет, а частичная – не реже одной инспекции в 5 лет. Дефектоскопия служит для установления, анализирования и определения методов борьбы с дефектами. Металлографические исследования следует проводить в случаях, для установления причины потери механических свойств металла или сварных соединений, образование трещин в элементах конструкции, а так же размеры и характер коррозионных повреждений в сечении металла. К неразрушающим методам относят техническое диагностирование резервуаров. Рентгенографический контроль сварных соединений методом гамма рентгенографии. По гамма-снимку определяется характер дефекта, его точные размеры по глубине, ширине и длине в металле, их количество и положение. Однако при таком методе микроскопические дефекты могут быть не выявлены. Магнитодефектоскопия как метод, основана на регистрации изменений в магнитном потоке, пропускаемого через стальные листы. Данный метод устанавливает поверхностные трещины на изделиях из электропроводящих ферромагнитных и неферромагнитных материалов. Зондирование основания резервуара осуществляется анализом грунта под резервуаров с целью факта установления наличия и места нахождения утечек нефтепродуктов по месту обнаружения диэлектрических аномалий. По результатам обследования и комплексной технической диагностики составляют заключение. Далее в заключение приводят результаты оценки ремонтпригодности резервуаров, устанавливают условия их дальнейшей эксплуатации и предложения по производству ремонтных работ. Исходя из этого, проводить весь спектр диагностического обеспечения стальных вертикальных резервуаров очень важно. Что бы предотвратить остановку производственного процесса во время чрезвычайных ситуаций, нужно соблюдать все выше перечисленные методы неразрушающего контроля.

Работоспособность – это состояние, при котором резервуар может выполнять поставленные задачи без отклонения параметров, установленных в технической документации. Для поддержания этого состояния требуется выполнять ремонт в установленные сроки. Ремонтпригодность элементов резервуара состоит в приспособлении составных частей объекта к предупреждению и обнаружению неисправностей и последующего устранения дефектов в период обслуживания до наступления отказа. При ремонте и монтаже стальных резервуаров должны использоваться металлы, обладающие гарантированными химическим составом и механическими свойствами, повышенной коррозионной стойкости и высокой сопротивляемости хрупкому разрушению при низких температурах. Дефектные участки, выявленные в результате диагностики, должны быть исправлены согласно ремонтным картам. Перед проведением ремонтных

работ следует проводить полную зачистку, которая включает в себя: выкачку нефтепродукта, мойку под давлением, дегазацию, промывку чистой водой с одновременной выкачкой этой воды эжектором, отбор проб воздуха на содержание в нем тетраэтилсвинца и углеводородов и в конце протирка ветошью. Существует 3 вида ремонтных работ: текущий, средний, капитальный. Мы подробнее остановимся на капитальном ремонте, он заключается в полной зачистке резервуара, устранении трещин и дефектов швов, а так же полной или частичной замене дефектных частей объекта. При проведении этих работ используется следующее оборудование: грузоподъемные механизмы, такелажное оборудование и оснастка, строительные леса, стремянки, оборудования и инструменты для резки металла, сварочное оборудование, строительное оборудование для работ по устранению осадок, укреплению оснований и фундаментов, измерительные инструменты, приборы для проведения испытаний на прочность и герметичность, средства индивидуальной защиты. Мы предлагаем вместо строительных лесов использовать устройство, которое крепится к крыше, где заранее установлен рельс и перемещается по типу монорельса по горизонтали, а по вертикали с помощью пневмопривода.

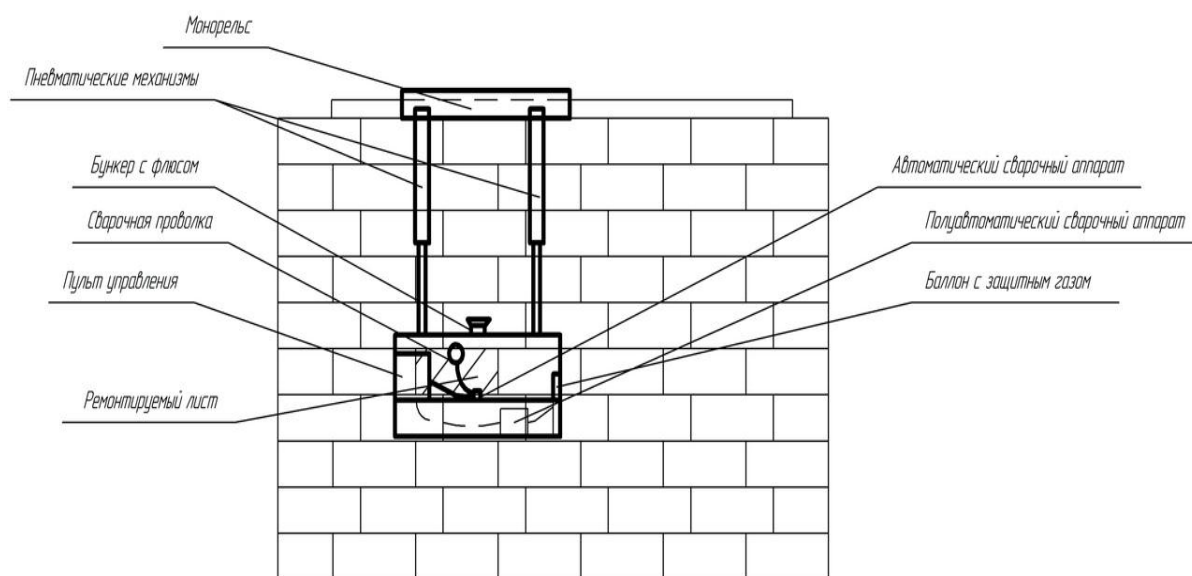


Рис. 1. Устройство для ремонта резервуара

Эта установка состоит из кабинки с люком сверху, при открытии которого раскладывается лестница, по которой сварщик может спуститься в кабину, где находится устройство для автоматической сварки, газовой резки и механизированной сварки установлен пульт управления который может задавать скорость движения как по горизонтали, так и по вертикали, а так же управлять режимами автоматической сварки под флюсом. Это устройство поможет улучшить условие труда рабочих, сократить время ремонта при полной замене дефектных частей, а так же улучшить качество сварных соединений.

Список литературы

1. Пыхтин, Е. П. Технология монтажной сварки при ремонте стенки резервуаров вертикальных стальных [Электронный ресурс] / Е. П. Пыхтин, М. Н. Сейдулов // Горизонты образования. – 2013. – Выпуск 15. – Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/mbsp_tez_2013.pdf. – С. 36-39.
2. Карбонатный коллектор [Электронный ресурс] // Большая энциклопедия нефти и газа. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id094455p1.html>.
3. Коррозия резервуаров и защита от нее [Электронный ресурс] // Журнал "Берг-коллегия" №10. – Режим доступа: <http://anklav.com/stati/135-korroziya-rezervuarov-i-zashchita-ot-nee>

УДК 621.643.065

Никитенко Я.Ф.

Повышение эффективности и результативности производства детали нефтепромыслового оборудования за счет уменьшения вспомогательного времени

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В данной работе рассмотрены пути сокращения вспомогательного времени производства штурвала клиновой задвижки, подобранно оборудования для сокращения вспомогательного времени и рассмотрена система автоматизированного проектирования для составления управляющей программы.

Abstract: In this paper, we consider ways to reduce the auxiliary time of production of the wheel of the wedge gate valve, selected equipment to reduce the auxiliary time and considered the computer-aided design system for the preparation of the control program.

Ключевые слова: вспомогательное время, автоматизация, САПР, управляющая программа, производственный процесс, эффективность, клиновая задвижка, штурвал, нефтепромысловое оборудование, магистральный нефтепровод.

Keywords: auxiliary time, automation, CAD, control program, production process, efficiency, wedge gate valve, steering wheel, oilfield equipment, oil trunk pipeline.

В настоящее время экономическое развитие невозможно без нефтегазовой отрасли. Непрерывная и результативная работа предприятий почти всех сельскохозяйственных и производственных отраслей непосредственно зависит от регулярных и точных поставок нефтегазовых продуктов, по этой причине транспортировка и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья играют важную роль.

Доставляют нефтепродукты с помощью таких видов транспорта:

- автомобильного;
- водного;
- железнодорожного;
- трубопроводного.

Магистральные трубопроводы могут достигать диаметра до 1620 миллиметров, и выдерживать давление до 100 атмосфер. А чтобы этого достичь все детали трубопровода должны соответствовать необходимому качеству, но при этом они не должны быть дорогостоящими, что бы не удорожать транспортировку. Для этого необходимо повысить эффективность и результативность производство каждой детали нефтепромыслового оборудования.

Задвижка – это запорное устройство, в котором проход перекрывается поступательными движениями затвора перпендикулярно движению потока нефтепродуктов и углеводородного сырья. Широко используются задвижки при перекрытии потоков газообразных и жидких сред в трубопроводах с диаметром от 50-1800 мм и при давлении до 150 атмосфер.

На российских магистральных нефтепроводах чаще всего используются стальные клиновые задвижки с гидро- или электроприводом.

На рисунке 1 представлена модель стальной клиновой задвижки.



Рис. 1. Модель стальной клиновой задвижки

Для повышения результативности и эффективности производства маховика, не обходимо уменьшить его штучное время. Штучное время – это интервал времени, равный соотношению цикла технологической операции к числу параллельно производимых или ремонтируемых изделий или равный календарному времени сборочной операции [1].

Различают подготовительно-заключительное время, основное время, вспомогательное время, оперативное время, время обслуживания и время перерывов.

На большинстве станков с ручным управлением, за исключением зубо- и резьбо-обрабатывающих, вспомогательное время превышает основное. На тяжелых расточных станках с ручным управлением в условиях единичного производства доля основного времени в цикле меньше или равна 10—15%. Из этого следует, что для уменьшения штучного времени, нужно сокращать вспомогательное время.

Вспомогательное время – это время, затрачиваемое на разнообразные действия, которые обеспечивают исполнение элементов работы, включенных в основное время, к примеру, на установку и снятие заготовки или собираемого узла, на пуск и останов станка или подъемника, на переключение режимов обработки в процессе выполнения операции и др. [2].

Часть времени обработки, которая затрачивается на обязательные вспомогательные операции, представленные на рисунке 2. Эту часть цикла обработки называют вспомогательным временем.

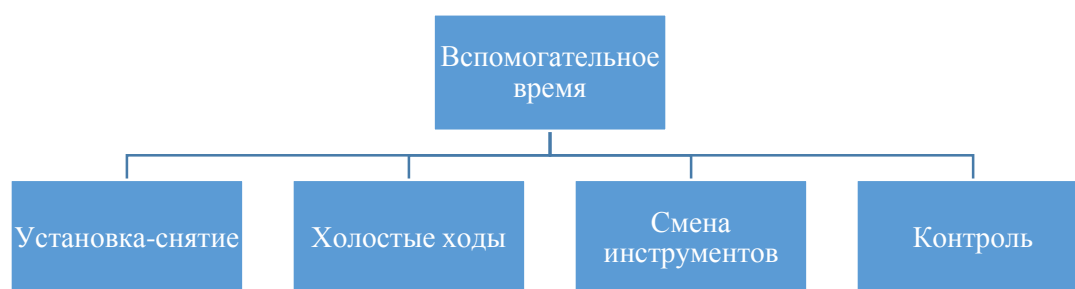


Рис. 2. Состав вспомогательного времени

Время холостых перемещений рабочих органов необходимо для подвода режущих инструментов к обрабатываемым поверхностям и для отвода инструментов в позицию смены. Сокращение этого времени можно осуществить двумя методами:

- рационализацией схем движения инструментов;
- увеличение скорости холостых ходов.

Оба метода наилучшим образом осуществляются на станках с ЧПУ. Для рационализации схем движения следует использовать системы автоматизированного проектирования (САПР) при разработке управляющих программ (УП).

Управляющая программа – это алгоритм команд на языке программирования, которая соответствует введенному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки [3].

Иногда производители станков с ЧПУ характеризуют время смены инструментов прибавлением ко времени непосредственной смены времени подвода инструментов к рабочим поверхностям и отвода от этих поверх-

ностей. Такое время называется «от реза до реза». У хороших станков данное время меньше или равно шести секундам, а доля основного времени в период цикла достигает 95%.

Время контроля входит в состав штучного времени тогда, когда оператор во время проведения обработки тормозит ее для выполнения контроля. При обработке на станках с ЧПУ производители пытаются избежать потери времени и проверку предыдущей детали партии проводят параллельно с обработкой последующей [4].

Преимущество применения обрабатывающих центров, выпускаемых компанией Stama заключается в том, что можно обрабатывать как небольшие по размеру партии так и объемные серии деталей, последовательно практически в любой комбинации. Токарно-фрезерные центры Stama выделяются благодаря тому, что заготовки в процессе изготовления на данном виде оборудования, можно фрезеровать, сверлить, шлифовать, и полировать со всех шести сторон в ходе одного рабочего цикла, при этом доступны и вспомогательные переходы, такие как поворот, подгонка, зачистка заусенцев. Благодаря 5-осевому обрабатываемому столу, заготовка и инструмент свободно позиционируются и поворачиваются в рабочем пространстве.

Увеличение производительности труда и уменьшение себестоимости продукции достигается с помощью уменьшения штучно-калькуляционного времени, убирания операций разметки, сокращения или исключения слесарной обработки и доводочных работ, многостаночного обслуживания; уменьшения машинного времени, сокращения расстояния рабочих перемещений инструмента, оптимизацией режимов резания, уменьшением расстояния холостых перемещений инструмента и концентрацией операций; уменьшения затрат времени на поиск и подготовку режущего инструмента, по причине того, что создаются условия для его централизованной подготовки (при разработке УП указывается вид и типоразмер режущего инструмента); уменьшение потребных производственных площадей, сокращение расходов на электроэнергию и на зарплату производственным рабочим с следствии увеличения производительности оборудования, а значит и меньшей потребности в обслуживающем персонале [5].

T-FLEX Технология - полнофункциональная система автоматизированного проектирования, обладающая гибкими современными средствами разработки технологических проектов любой сложности. В системе используется специализированный технологический язык, принят метод проектирования по расширенному процессу-аналогу, есть возможности работы всех технологических подразделений в обобщенном информационном пространстве.

Система T-FLEX ЧПУ включена в систему автоматизированного проектирования T-FLEX CAD, что позволяет прямое взаимодействие модулей CAD и CAM и сквозную параметризацию, производя при этом идею прямого превращения конструкторской модели в деталь.

Список литературы

1. Бухалков, М. И. Организация и нормирование труда / М. И. Бухалков ; под ред. М.В. Мельник. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2008. – 210 с.
2. Рофе, А. И. Организация и нормирование труда / А. И. Рофе. – Москва : МИК, 2003. – 256 с.
3. Никитин, А. В. Сборник задач по экономике, нормированию и организации труда в промышленности / А. В. Никитин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Экономика, 1990. – 325 с.

УДК 65.05

Остапенко М.С., Романова А.А.

Система «5 s» для производственных предприятий

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В данной статье рассматривается инструмент «5 S» для постоянного улучшения рабочего места сотрудников предприятия. Представлены семь видов производственных потерь, которые существуют на производственных предприятиях. Также описаны принципы успешного внедрения и функционирования данного инструмента. Описание новой системы «6 S», отличие от предыдущей системы по организации рабочего места.

Abstract: This article discusses the tool "5 S" for continuous improvement of the workplace of employees. Seven types of production losses, which exist at the production enterprises, are presented. The principles of successful implementation and operation of this tool are also described. Description of the new system "6 S", unlike the previous system for the organization of the workplace.

Ключевые слова: «Бережливое производство», производственные потери, инструмент, сотрудники, внедрение, результат, функционирование, система, рабочее место, оптимизация.

Keywords: "Lean production", production losses, tool, employees, implementation, result, operation, system, workplace, optimization.

«Бережливое производство» – это система управления производственным предприятием, осуществляющаяся за счёт постоянного стремления к устранению всех видов производственных потерь. «Бережливое производство» в дословном переводе с английского языка звучит как «стройное производство». Концепция «Бережливое производство» представляет собой вовлечение в процесс сокращения потерь всех сотрудников предприятия без исключения.

На производственных предприятиях существует семь видов потерь:

- потери из-за перепроизводства;

- потери из-за лишних перемещений;
- потери, связанные с дефектной или бракованной продукцией;
- потери из-за лишних запасов;
- потери, связанные с излишней обработкой;

- потери, связанные с ожиданием;
- потери, связанные с излишней транспортировкой [1].

Для устранения производственных потерь на предприятиях, существуют инструменты «Бережливого производства», самым распространённым из них является система «5S» – оптимизация рабочего места сотрудников предприятия. Также необходимо отметить следующие эффективные инструменты:

- система Kaizen – непрерывное совершенствование;
- система Just-in-Time – «точно вовремя»;
- система SMED – быстрая переналадка оборудования;
- система Kanban – система организации производства и снабжения.

Система организации рабочего места впервые начала приносить пользу в середине 50-х годов прошлого века, она зародилась из двух японских концепций Total Productive Maintenance (Всеобщий уход за оборудованием) и Toyota Production System (Производственная система Toyota), на тот момент она содержала четыре шага:

- сортировка;
- рациональное расположение;
- уборка;
- стандартизация работ.

Сейчас же система звучит как «5 S», добавлен пятый шаг – «совершенствование». Система «5 S» – это инструмент «Бережливого производства», целью которого является устранение такого вида потерь как «лишнее перемещение». Данная система работает за счёт оптимальной организации рабочего места сотрудника предприятия для более рациональной и эффективной работы, путем сортировки, перестановки, зрительных подсказок и органайзеров, постоянного поддержания порядка и чистоты на рабочем месте. Этот инструмент эффективно внедряется и успешно функционирует на производственных предприятиях по всему миру, в том числе и в России. Благодаря внедрения инструмента «5 S» на предприятиях сокращается или вообще устраняется такой вид производственных потерь как «лишние перемещения» [2].

Для успешной работы данного инструмента «Бережливого производства» на предприятии в первую очередь должно пройти обучение всех сотрудников основам системы «5S», оно проводится компетентными специалистами, приглашёнными на предприятие или же собственными сотрудниками, которые прошли обучение и имеют подтверждающие это документы. Также чтобы система работала и приносила желаемый результат, необходимо провести тщательный анализ всех проблемных мест предприятия, так как главным принципом внедрения всех инструментов по «Бережливому производству», является принятие решений, основанное на фактах [3].

На первом этапе «сортировка» необходимо отсортировать все вещи, находящиеся в рабочей зоне по мере их востребованности, если в ходе сортировки выяснилось, что какие-либо вещи используются реже чем раз в полгода, то их следует отнести в зону «красных ярлыков» или так называ-

емую зону «карантина». На эти вещи наносится красный ярлык с надписью частоты использования, сама же зона должна находиться в специально отведенном месте и иметь опознавательный знак.

На следующем этапе «соблюдение порядка» необходимо найти своё место для каждого предмета, они должны располагаться так, чтобы их можно было быстро найти, удобно взять и после использования вернуть на место.

Третий этап подразумевает ежедневное поддержание чистоты на рабочем месте, то есть необходимо уделять от 10 до 15 минут на уборку в начале или конце рабочего дня [4].

На четвертом этапе «стандартизация» разрабатывается стандарт рабочего места, в котором прописана инструкция по поддержанию рабочего места в чистоте. Также для наглядности можно составить график самоконтроля, в котором будет отмечаться выполнение инструкции.

Этап «совершенствование» подразумевает закрепление достигнутых результатов на предыдущих этапах, а также внесение улучшений в рабочую зону.

Данный инструмент «Бережливого производства» для каждого внедряющего его предприятия должен быть не просто инструментом для оптимизации рабочего места, а целой культурой за счет которой повышается производительность и безопасность персонала, снижаются затраты на предприятии, уменьшается процент брака и улучшается качество продукции.

На сегодняшний день данная основоположники этой системы не стоят на месте и теперь система называется «6 S». Система «6 S» зародилась в Китае, но Японцы скопировали и успешно применили ее на своих предприятиях. В настоящее время она широко распространилась, ее отличии от системы «5 S» состоит лишь в добавлении нового этапа «привычка», что подразумевает собой формирование привычки по соблюдению и поддержанию предыдущих этапов у работников предприятия на своих рабочих местах офисных работников и у сотрудников производственных предприятий [5].

Список литературы

1. Вумек, Джеймс П. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс П. Вумек, Дэниел Т. Джонс. Москва: Альпина Паблишер, 2011. 245 с.
2. Абросимова, Т.Н. Опыт внедрения бережливого производства в машиностроении на примере ОАО «Заволжский моторный завод» / Т.Н. Абросимова, И.А. Барцев / Российское предпринимательство. 2013. № 2. С. 73-78.
3. Хирано Х. 5S для рабочих: как улучшить свое рабочее место / Пер. с англ. И. Попеско. Москва: Институт комплексных стратегических исследований, 2013. 106 с.
4. Брайан, М. Практика бережливого учета: управленческий, финансовый учет и система отчетности на бережливых предприятиях / Маскелл Брайан, Баггали Брюс; Пер. с англ. - Москва: Институт комплексных стратегических исследований, 2010.-384 стр.
5. Савенков, Д. Л. Практика внедрения "бережливого производства" на промышленных предприятиях машиностроительного комплекса России / Д. Л. Савенков. – Москва : Финансы и статистика, 2006. - 224 с.

Способ сварки труб с улучшением эксплуатационных характеристик и повышением производительности сварки

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Данная статья рассматривает способ сварки труб большого диаметра, а также сварку заготовок цилиндрической формы с целью повышения производительности процесса изготовления конструкций, снижения погонной энергии, улучшения формы шва, уменьшения зоны термического влияния, улучшения свойств металла сварного шва, уменьшения уровня остаточных напряжений.

Abstract: This article considers a method for welding large-diameter pipes, as well as welding cylindrical billets to improve the performance of the fabrication process, reduce heat input, improve the weld shape, reduce the heat-affected zone, improve the properties of the weld metal, and reduce the residual stress level.

Ключевые слова: сварка, способ сварки, цилиндрическая форма, трубы.

Keywords: welding, welding method, cylindrical shape, pipes.

По международному стандарту ISO 3183-2015 (Трубы стальные для трубопроводов нефтяной и газовой промышленности. Общие технические условия) предусмотрены следующие операции, для трехслойной сварки труб:

1) Сварка технологического шва. Перед сваркой производится стыковка кромок заготовки и затем наложение прихваточных швов по всей длине конструкции. Это необходимо для того, чтобы зафиксировать ее и предотвратить смещение относительно друг друга.

2) Сварка рабочего шва с одной стороны. Стенку нужно проплавить примерно наполовину, после чего заполняется разделка кромок с той стороны, с которой идет процесс сварки.

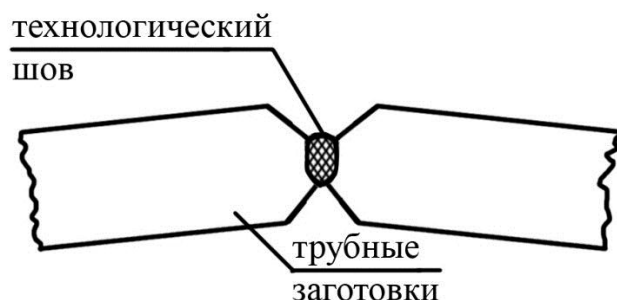


Рис. 1. Сварка технологического шва

3) Сварка рабочего шва с противоположной стороны трубы. Шов должен покрыть рабочий шов, выполненный на предыдущем этапе, на небольшое расстояние и заполнить соответствующую разделку кромок.

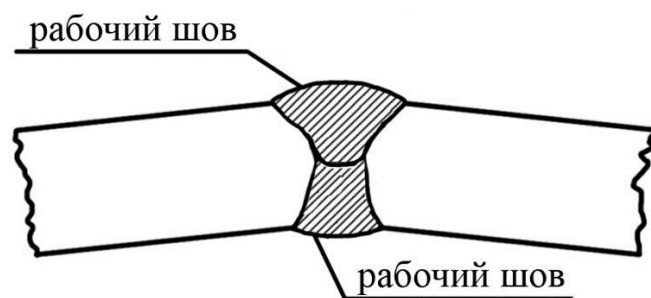


Рис. 2. Сварка рабочих швов с наружной и внутренней стороны трубы

Тем самым технологический шов, выполненный в первой операции, должен полностью быть перекрыт рабочими швами из второй и третьей операции.

Данная технология затрачивает большое количество погонной энергии, количество дуг, работающих на одну сварочную ванну необходимо не меньше пяти, сварка выполняется в несколько проходов, в результате чего КПД сварки значительно уменьшается. Также, большие затраты погонной энергии вызывают расширение зоны термического влияния, в которой ухудшаются механические свойства и структура основного металла заготовки. Увеличивается влияние термо-процессов, которые в свою очередь увеличивают уровень остаточных напряжений способных изменить геометрию заготовки.

Предлагаемое изобретение относится к способу сварки труб с большим диаметром и к сварке заготовок цилиндрической формы, с целью повышения КПД сварки, а также улучшения эксплуатационных характеристик труб. Результат достигается с помощью добавления дополнительной операции – наложение рабочего корневого шва, который должен обладать минимальной шириной и максимальным проплавлением притупления кромок. При выполнении дополнительной операции – наложение рабочего корневого шва, нужно переварить технологический шов, сваренный до него. Затем необходимо наложить внутренний и наружный рабочие швы, перекрывающие корневой шов с двух сторон, формируя конечную поверхность шва трубной заготовки.

Наложение рабочего шва производится с помощью лазерной или гибридной (лазерная + дуговая сварка в среде защитного газа) сварки. Лазерная сварка обладает высокой концентрацией излучения (10^{12} Вт/см²), благодаря чему шов будет обладать минимальной шириной. В следствии чего происходит снижение количества погонной энергии сварки, уменьшение зоны термического влияния в 2 и более раз, обеспечивая: стабильность механических свойств, термическая деформация околошовной зоны и уровень остаточных напряжений минимальны.

Наложение внутреннего и наружного швов производится дуговой сваркой на глубину меньшую, чем по стандарту ISO 3183-2015, в результа-

те чего не требуется увеличенная погонная энергия. Также происходит термическая нормализация металла шва и формирование поверхности шва с двух сторон, характеризующиеся меньшей шириной и усилением, благодаря чему снижается механическая концентрация напряжений на границах перехода с основным металлом.

Способ сварки осуществляется по следующим пунктам:

- 1) Формовка трубной заготовки и стыковка кромок трубных заготовок
- 2) Наложение первого прихваточного шва дуговой сваркой, тем самым фиксируя кромки

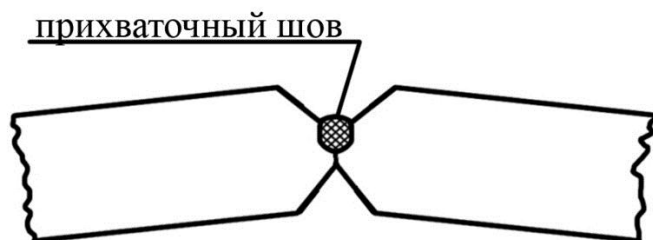


Рис. 3. Прихваточный шов

- 3) Наложение основного рабочего шва лазерной сваркой, переваривая прихваточный шов и проплавляя ширину кромок, не заполняя разделку кромок

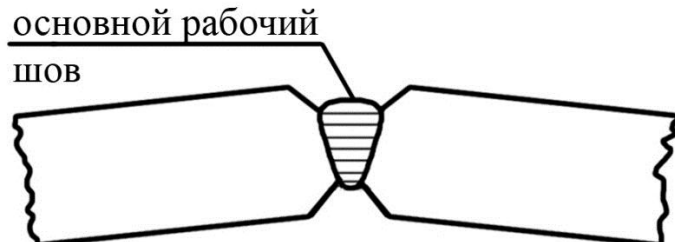


Рис. 4. Рабочий шов

- 4) Наложение внутреннего шва дуговой сваркой, который заполняет разделку кромок внутри трубы

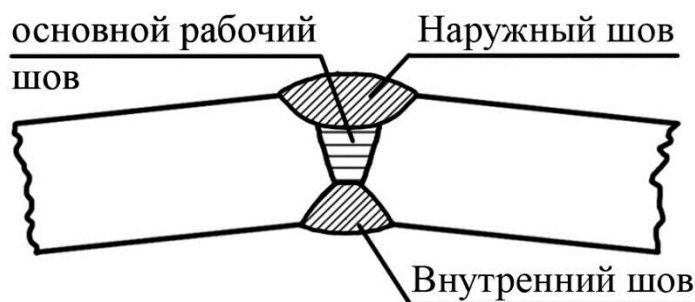


Рис. 5. Схема швов, выполненных в предлагаемом способе сварки

5) Наложение наружного шва дуговой сваркой, который заполняет разделку кромок снаружи трубы

С помощью предлагаемой технологии способа сварки уменьшается погонная энергия при сварке толстостенных трубных изделий, повышаются механические свойства металла шва и предотвращаются появление горячих трещин (благодаря наложению технологического шва).

Список литературы

1. Бондарь, В. Х. Справочник сварщика-строителя / В. Х. Бондарь, Г. Д. Шкуратовский. – Москва, 1982. – 250 с.

2. Пат. 2511191 Российская Федерация, МПК В23К9/16 В23К9/02 В23К25/00 В23К33/00. Способ многослойной сварки труб / Романцов И. А., Никитин К. Н., Романцов А. И.; патентообладатель Открытое акционерное общество “Челябинский трубопрокатный завод” № 2013110136/02; заявл. 06.03.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10.

УДК 621.91.02

Чернышов М.О., Васильев Д.В., Киреев В.В.

Повышение прочности сменных режущих пластин и работоспособности сборных инструментов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: Приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния в сменных режущих пластин сборных инструментов, с применением метода конечных элементов. Показано влияние конструктивных параметров сменных режущих пластин на напряжения и деформации, возникающие в процессе резания. Приведена разработанная конструкции режущей пластины повышенной прочности и сборного резца повышенной работоспособности.

Abstract: The results of the calculation of the stress-strain state in interchangeable cutting plates of modular tools using the finite element method are presented. The influence of design parameters of replaceable cutting plates on stresses and strains arising during the cutting process is shown. The developed designs of a cutting plate of increased strength and a precast cutter of increased working capacity are given.

Ключевые слова: Прочность, работоспособность, сменные режущие пластины, твердый сплав, сборные инструменты.

Keywords: Strength, performance, interchangeable cutting inserts, carbide, prefabricated tools.

В настоящее время невозможно обеспечить снижение затрат и повышение конкурентоспособности продукции без использования современных технологий, оборудования, инструмента. Одним из способов повышения эффективности механической обработки является переход от использования режущего инструмента с напайными режущими элементами к сборному с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП).

Эффективность режущих инструментов можно оценить по-разному. Обычно критериями оценки являются инструментальные затраты на одну деталь и общие затраты на обработку одной детали.

Для расчета инструментальных затрат достаточно знать стоимость инструмента и рассчитать или определить экспериментальным путем его стойкость.

Недостаточная стойкость вызывает рост количества наладок и увеличение простоев оборудования. При выборе слишком щадящего режима резания стойкость инструмента возрастет, но время обработки детали увеличится [1].

Непрерывно повышающиеся требования к производительности и качеству обработки, широкая автоматизация в машиностроении обусловили необходимость разработки системы сборных инструментов с механическим креплением СМП [2].

В работе [3] приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния СМП и сформулированы следующие требования к разрабатываемым конструкциям сборных инструментов и СМП повышенной прочности:

- увеличение угла при вершине пластины ϵ , как представлено на рисунке 1;
- обеспечение при закреплении пластины в угловое гнездо корпуса инструмента гарантированного прижима по упорным боковым граням и опорной поверхности.

В соответствии с этими требованиями были разработана новая режущая пластина повышенной прочности [4], которая схематично представлена на рисунке 2.

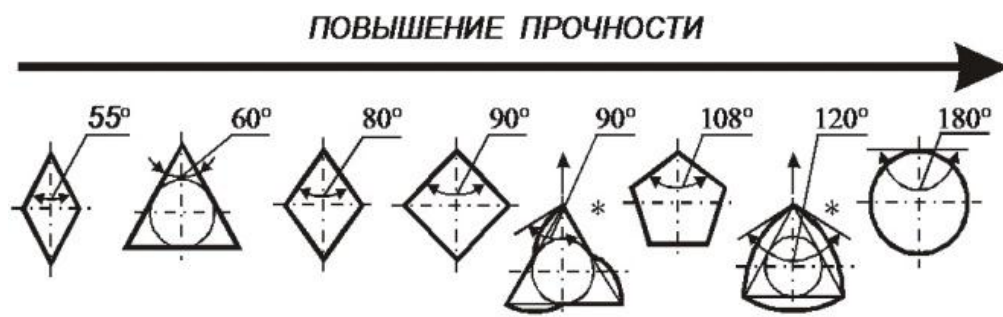


Рис. 1. Классификация форм СМП по прочности в зависимости от величины угла при вершине ϵ (*новые формы пластин представленные в работах [3])

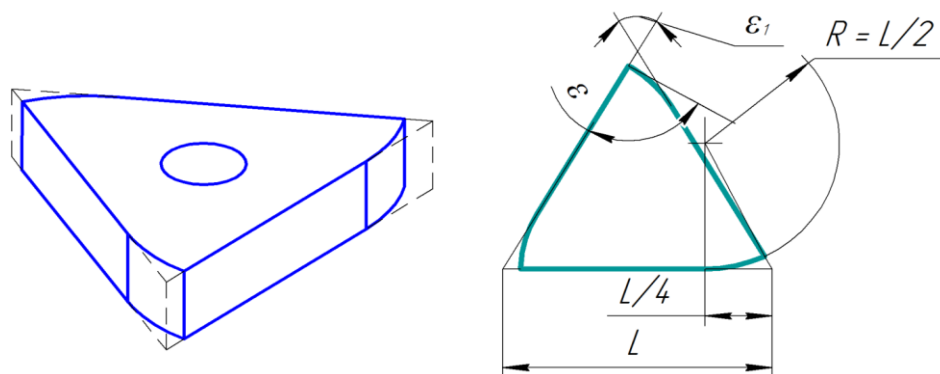


Рис. 2. Сменная режущая пластина повышенной прочности [4]

Разработанные режущие пластины, выполнены на основе равноугольных многогранников. Для повышения работоспособности вспомогательная режущая кромка СМП выполнена в виде дуги вписанной в четверть длины стороны многогранника L , при этом радиус R криволинейной режущей кромки равен половине длины стороны многогранника.

Для трехгранных режущих пластин стандартной ($\varepsilon=60^\circ$) и разработанной формы ($\varepsilon=90^\circ$) был проведен сравнительный расчет напряжений методом конечных элементов при нагружении режущей кромки удельной нагрузкой P_i для следующих условий резания: черновая обработка, обрабатываемый материал – сталь нержавеющая, материал режущей пластины - твердый сплав марки ВК8.

Результаты расчета приведены в виде картин изолиний главных напряжений σ_1 на рисунке 3 и эпюры распределения опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках трехгранных режущих пластин разных форм на рисунке 4. На рисунке 4,б на оси абсцисс L цифрами обозначены узловые точки на главной режущей кромке (рисунок 4, а), в том числе 1-5 – участок нагружения. На оси ординат показаны распределения напряжений σ_1 на режущей кромке пластины, в % от приложенной нагрузки P_i .

Анализ графика эпюр распределения напряжений растяжения σ_1 показал, что изменение формы вспомогательной режущей кромки пластины с прямолинейной на криволинейную позволило уменьшить величину опасных напряжений растяжения σ_1 на нагруженном участке главной режущей кромки примерно в 2 раза, как представлено на рисунке 4, б. Наиболее опасным участком на главной режущей кромки является зона конца участка нагружения (узловые точки 5-6).

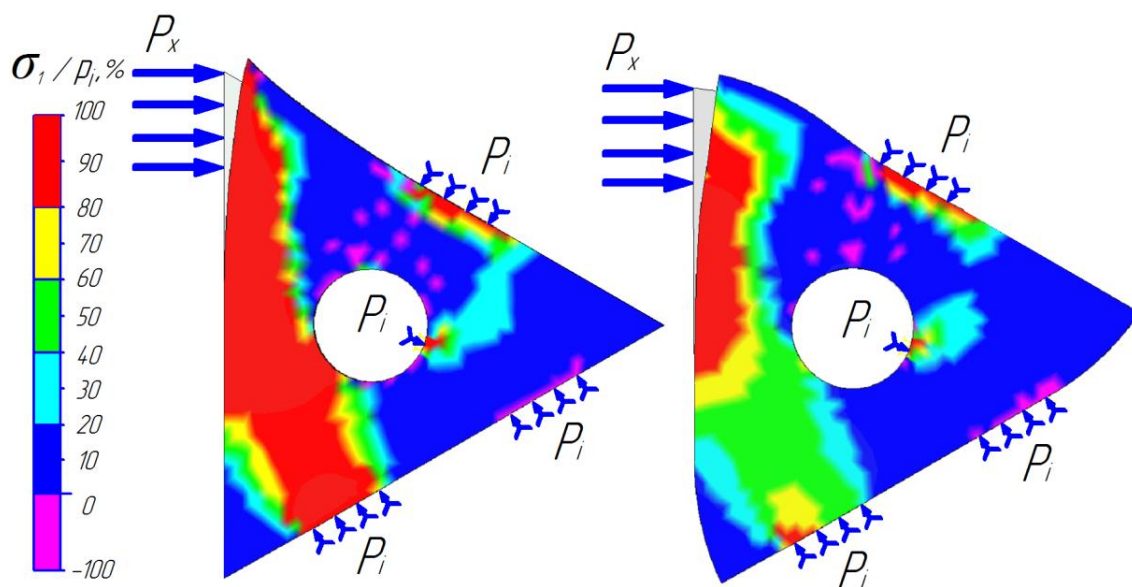


Рис. 3. Картины изолиний главных напряжений σ_1 в трехгранных пластинах разных форм ($\varepsilon=60^\circ$ и $\varepsilon=90^\circ$), P_i - приложенная удельная нагрузка, R_i – реакция в упорных точках, P_3 – силы закрепления режущей пластины (перемещения увеличены в 3000 раз)

Для проверки результатов расчета были проведены экспериментальные исследования при точении стали 1X18H9T. В качестве режущего инструмента использовали два проходных упорных резца со сменными режущими пластинами из ВК8, причем первый резец был оснащен стандартной трехгранной режущей пластиной с геометрией: передний угол $\gamma = 5^\circ$; задний угол $\alpha = 5^\circ$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 10^\circ$; главный угол в плане $\phi = 90^\circ$; вспомогательный угол в плане $\phi_1 = 30^\circ$ и углом при вершине $\varepsilon = 60^\circ$. Второй резец был оснащен разработанной сменной твердосплавной режущей пластиной с вспомогательной режущей кромкой выполненной в виде дуги с геометрией: передний угол $\gamma = 5^\circ$; задний угол $\alpha = 5^\circ$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 10^\circ$; главный угол в плане $\phi = 90^\circ$; вспомогательным углом в плане $\phi_1 \approx 3^\circ$ и углом при вершине $\varepsilon \approx 90^\circ$ (рис.5.).

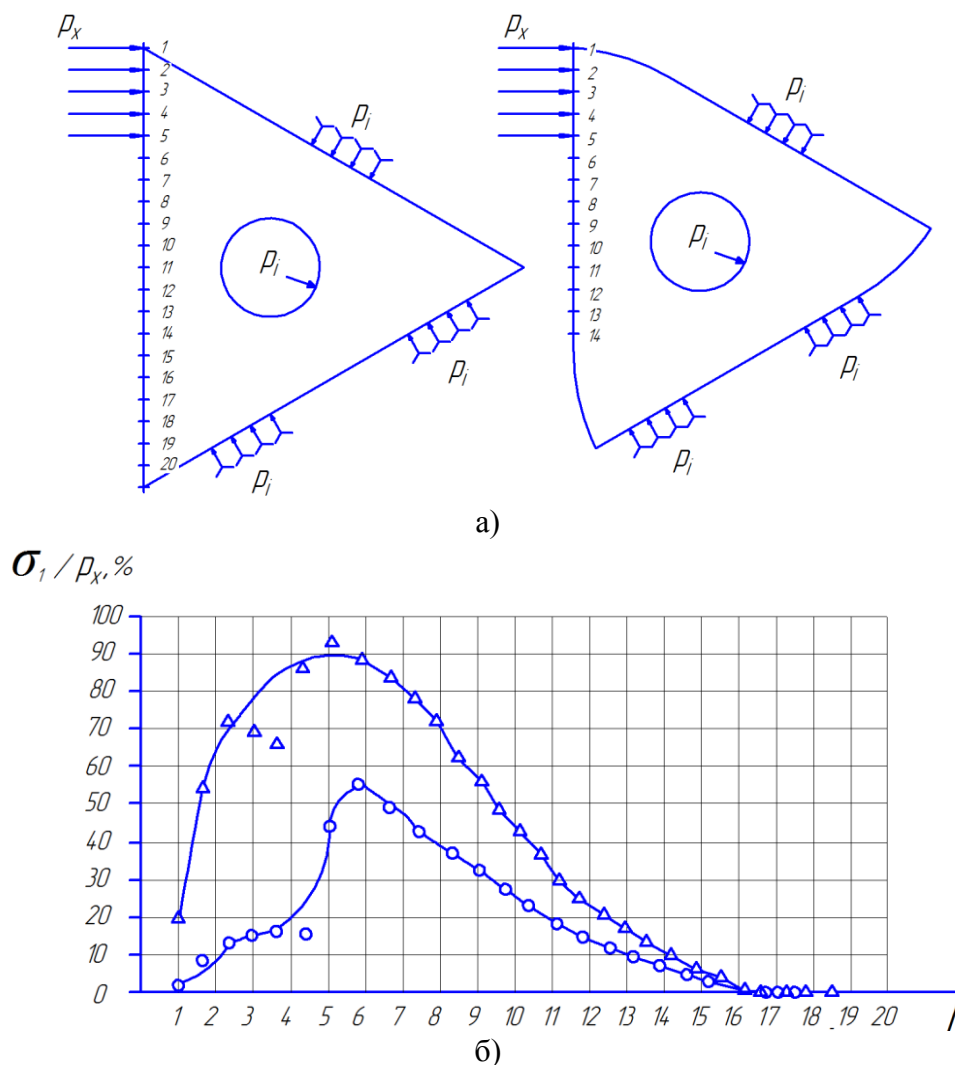


Рис. 4. Результаты исследования влияние формы режущей пластины на распределение опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках:

а) схема нагружения пластин разных форм;

б) зависимости распределения опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках трехгранных режущих пластинах разных форм ($\varepsilon = 60^\circ$ и $\varepsilon = 90^\circ$)

Исследования проводили при режимах резания: подаче $s=0,4$ мм/об, глубине резания $t=1,5$ мм и разных скоростях резания (в интервале 13 - 84 м/мин).



Рис. 5. Фотография реза с разработанной режущей пластиной повышенной прочности

Анализ результатов эксперимента позволил установить, что для разработанной режущей пластины изменение формы вспомогательной режущей кромки, с прямолинейной на криволинейную позволило снизить силы резания P_z и увеличить работоспособность пластины, измеренную путем резания приблизительно в два раза, на рисунке 6. Результаты теоретических расчетов хорошо коррелируют с экспериментальными данными.

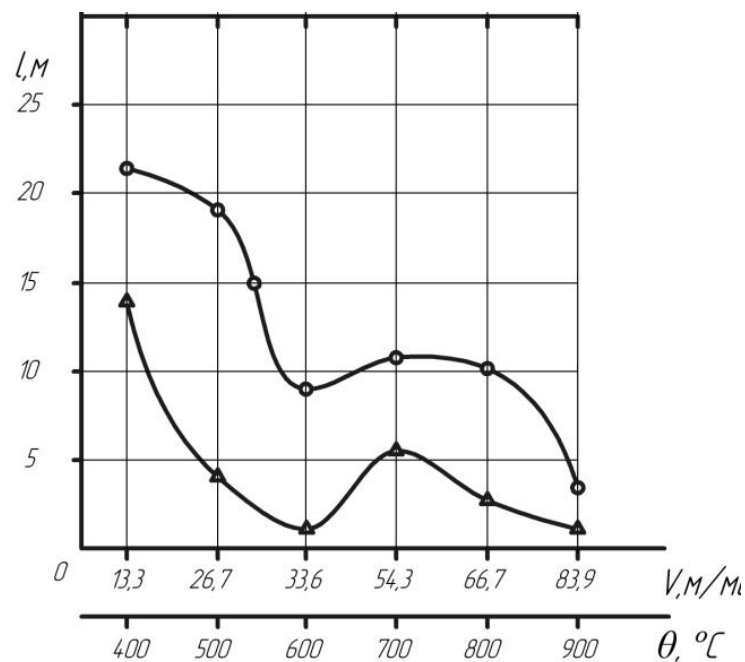


Рис. 6. Длина пути резания стандартной \blacktriangle и разработанной \bullet режущих пластин

Таким образом, доказано, что увеличение угла при вершине ε позволяет снизить величину опасных напряжений растяжения σ_1 и соответственно повысить работоспособность режущих пластин сборных инструментов. На основе этих результатов разработана новая форма режущей пластины повышенной работоспособности.

Список литературы

1. Васин, С.А. Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы. / С.А. Васин, С.Я. Хлудов – Москва: Машиностроение, 2006. – 352 с.
2. Гречишников, В.А. Режущие инструменты: учебное пособие / В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, А.Г. Схиртладзе, Б.Е. Седов, В.А. Иванов, В.К. Перевозников – Старый Оскол: ТНТ, 2012. - 388 с.
3. Артамонов, Е.В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, М.Х. Утешев – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011 – 152 с.
4. Пат. № 2531336 Российская федерация, МПК В23В 27/16. Режущая пластина для черновой и чистовой обработки / Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев, В.В. Киреев, М.О. Чернышов; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). - №2013129883; заявл. 28.06.2013; опубл. 20.10.2014; Бюл. №29.

УДК 622.236.22

Сауков Н.А.

Разработка, моделирование и расчет установки сухой резки жидким азотом

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: У гидроабразивной резки существует ряд недостатков – увлажнение материалов, сбор отходов, осложненная переработка абразива и его утилизация. Эти недостатки могут быть преодолены за счет замены воды жидким азотом. В данной работе освещается разработка, расчет и экономическая оценка установки резки жидким азотом под давлением.

Abstract: In waterjet cutting there are some drawbacks - wetting materials, collection of waste, complicated abrasive processing and utilization. These disadvantages can be overcome by replacing water with liquid nitrogen. This paper covers the development, calculation, and economic evaluation of a plant for cutting with liquid nitrogen under pressure.

Ключевые слова: жидкий азот, струя жидкого азота, сухая резка, криогенная резка, очистка с помощью сверхкритических струй.

Keywords: liquid nitrogen, nitrogen jet, dry cutting, cryogenic cutting, stripping with supercritical jets.

Водоструйная обработка превратилась в многофункциональный инструмент для обработки различных технических материалов. Основные преимущества этой технологии, такие как высокая гибкость и отсутствие

износа режущей части с низкой термической и механической нагрузкой на заготовку все еще открывают новые области применения. Для некоторых применений водоструйная обработка не рассматривается в качестве первого выбора технологии обработки из-за ее дополнительных технологических этапов, таких как микрофильтрация до, а также последующей обработки с удалением воды, очисткой и сушкой заготовок после механической обработки [1]. Микробная нагрузка и увлажнение, бесполезные, например, в медицинских или чистых помещениях, являются ограничивающими факторами обычного струйного процесса и побуждают искать альтернативные методы резки. Из-за полной сублимации струйной среды струйная резка жидким азотом является сухим безотходным процессом. Жидкий азот добывается из воздуха и может рассматриваться как экологически нейтральный. В последние годы были проведены исследования по очистке поверхностей жидким азотом [2,3], но низкая твердость частиц азота в сверхкритической струе не дает возможности быть более чем процессом очистки. Таким образом, добавление в струю азота абразивных частиц может привести к значительному повышению сил, влияющих на резание материала. При данной технологии резки может использоваться различный, в том числе и широко применяемый при гидроабразивной резке, абразив. Особенно перспективным видится использование абразивных частиц, склонных к сублимации при нормальных условиях, но сохраняющих твердое состояние в условиях высокого давления и низкой температуры. Таким требованиям соответствует твердый CO₂. Проведем теоретическую оценку способности к резке данной технологией различных материалов.

Для расчета сил резания необходимы входные параметры. Входные параметры должны быть реальны и опираться на существующее оборудование. В связи с этим, был произведен поиск оборудования для установки резания жидким азотом.

Основная часть – насос криогенных жидкостей высокого давления. Главными параметрами для его выбора является способность к нагнетанию давления жидкого азота до значений свыше 300 МПа, наличие технической документации на оборудование и возможность покупки этого оборудования. Под эти требования попадает насос высокого давления Nitrojet 6000, особенно ввиду наличия на него технической документации, представленной в таблице 1. Максимальные характеристики этого насоса и являются входными данными для дальнейших расчетов.

Таблица 1

Характеристики установки Nitrojet 600

Габариты установки		Требования к электропитанию		Насос среднего давления	
Высота	1,68 м	Фазы	3	Производитель	Nitrocision
Ширина	2,93 м	Частота	60 ГЦ	Тип	Поршневой
Глубина	1,22 м	Вольтаж	480 В	Привод	Гидравлический
Вес	3400 кг	Сила тока	250 А	Максимальное давление	103 Мпа

Максимальные непрерывные рабочие параметры		Насос высокого давления		Требования к входным параметрам	
Давление на выходе	380 МПа	Производитель	Nitrocision	Минимальное давление в баке	241 КПа
Температура на выходе	(min) -150 °С	Тип	Поршневой	Максимальное давление в баке	620 КПа
Объемный поток на выходе	14 л/мин	Привод	Гидравлический	Потребляемый объем	27 л/мин
Скорость струи	915 м/с	Максимальное давление	380 МПа	Фаза	Жидкость

Так же был произведен выбор фокусной трубки. В связи с разными характеристиками струй воды и жидкого азота, характеристики такого ответственного оборудования должны быть изменены. Так, в исследовании [1] утверждается, что оптимальный распад струи жидкого CO_2 с добавлением абразива достигается при соотношении диаметра сопла к диаметру фокусной трубки 1/32, тогда как при обычной гидроабразивной резке соотношение 1/3. К сожалению, перенос характеристик с жидкого CO_2 на жидкий азот так же не представляется возможным, но, ввиду отсутствия экспериментальных данных, предлагается использовать фокусную трубку с соотношением диаметра к диаметру сопла 1/32. В дальнейшем, на основании опытных данных, будет необходимо произвести расчёт длины фокусной трубки к диаметру. Сейчас применим соотношение 100/1.

После выбора оборудования в существующую схему станка гидроабразивной установки были внесены изменения и получена концептуальная модель установки, показанная на рисунке 2.

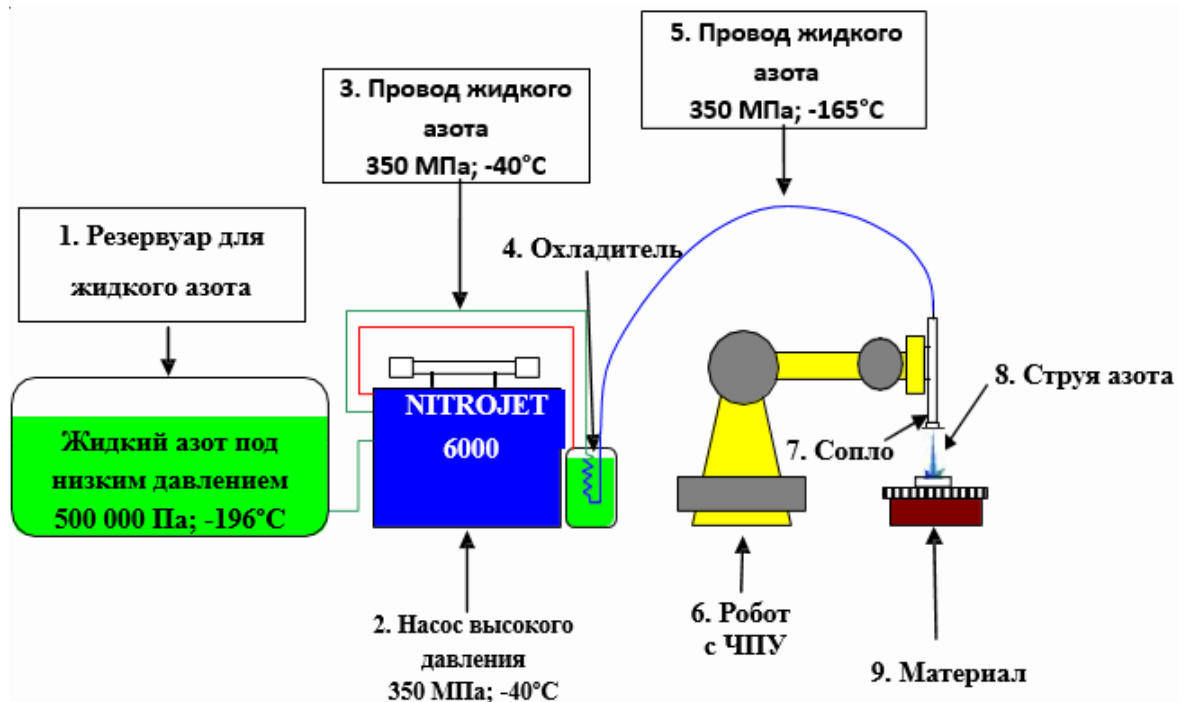


Рис. 2. Модель установки резки жидким азотом

Установка делится на несколько модулей. Жидкий азот из резервуара под давлением 0.55МПа подается к усиливающему насосу. Повышение давления вызывает нагрев азота, которое устраняется путем его охлаждения в теплообменнике. Затем, в сверхкритическом состоянии азот подается в фокусную трубку с давлением от 300 до 380МПа при температуре -150 °С. Сужение проходного сечения сверхкритического азота между фокусной трубкой и соплом вызывает увеличения скорости струи до сверхзвуковых значений.

Далее была исследована струя жидкого азота. Струя жидкого азота с давлением выше 300 МПа может использоваться для обработки различных материалов и функциональных поверхностей, прежде чем она расширится до газового и атмосферного давления. Однако переход от жидкой к газообразной фазе приводит к различиям в плотности, которые изменяют производительность резания. В результате, знания о водяных струях не могут быть адаптированы к струям азота.

Существует несколько исследований, в которых изучается поток криогенных сверхкритической жидкостей. Примечательно, что результаты моделирования таких струй расходятся между собой. Обобщив эти исследования, можно продемонстрировать расположение областей струи жидкого азота под давлением на рисунке 2.

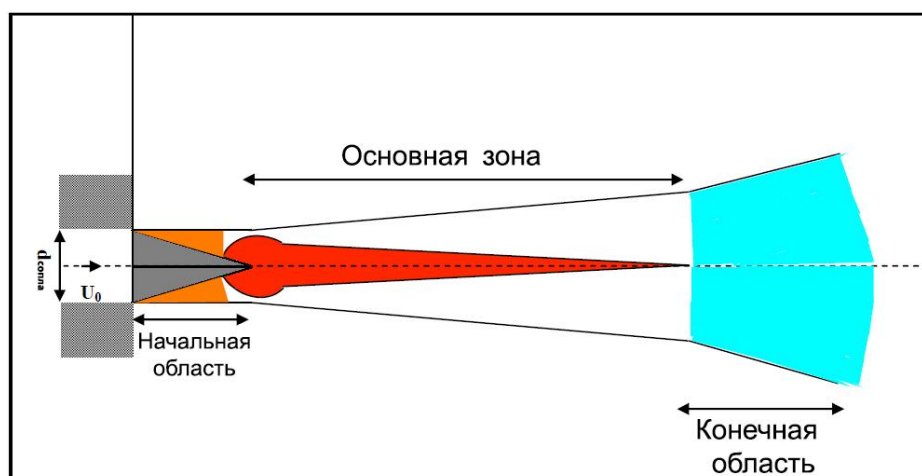


Рис. 3. Распределение зон в струе жидкого азота

Так, поток этой струи, за исключением переходных областей, имеет три области:

- начальная область, в которой струя состоит из чисто газовой фазы, и окружена смесью газов окружающего воздуха. Диаметр струи в этой начальной площади остается, по существу, постоянным и равным диаметру сопла,

- главная область, сосредоточена в оси струи и характеризуются появлением плотной фазы (жидкая или сверхкритической) после рекомпрессии азота после прохождения диска Маха. Доля этой фазы уменьшается за счет новой зоны, которая развивается на периферии. Эта новая зона характеризуется туманом, который содержит смесь из капель азота и воздуха,

- конечная область, в которой весь азот газифицируется и теряет кинетическую энергию. В этой области диаметр струи максимален.

Ввиду новизны процесса, не существует формул либо каких-то эмпирических закономерностей для вычисления сил резания. Тем не менее, проведя аналогию с гидроабразивной резкой, мы можем установить факторы, которые будут влиять на силу резания и, проанализировав их, сделать предположение о способности резки материала. Качество резки определяется глубиной разреза, шириной пропила, шириной среднего пропила и формой пропила.

По результатам исследовательской работы в моделировании сил резания были выведены следующие входные параметры:

гидравлические: 380 МПа; 210 г/с; 300 м/с;

геометрические: диаметр фокусной трубки 5 мм; длина фокусной трубки – 500 мм; диаметр сопла – 0,15 мм; длина сопла – 70 мм;

режимные: скорость перемещения инструмента относительно материала – 6 см/мин; массовый расход абразива 320 г/мин; расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности 15 см;

свойства материала – твердость по Бринеллю 145НВ; толщиной и допустимой шириной реза можно пренебречь.

Имея входные данные, можно рассчитать теоретическую способность резки материала. Рассмотрим основные силы, возникающие из-за воздействия потока жидкого азота на материал.

Рассчитаем кинетическую энергию струи.

Усилие удара F относит к массовому расходу потока m согласно отношению

$$F = \dot{m}U \quad \dot{m} = \rho SU \quad (1)$$

где ρ - средняя массовая плотность азота, S - площадь поперечного сечения струи; U средняя скорость струи на участке, близкому к воздействиям поверхности, \dot{m} - массовый поток.

Плотность жидкого азота известна и составляет 808 кг/м³. Оценив массовый поток жидкого азота в 210 гр/сек, получаем скорость струи в месте контакта с обрабатываемой деталью, равную 300 м/сек. По известной скорости и массовому потоку вычисляем силу воздействия чистой струи на материал – она равна 63 Н. Это значение хорошо коррелирует со значениями сил, возникающих при воздействии на материал чистой струи воды.

Ударная волна.

Столкновение между жидкостью и твердой поверхностью создает ударную волну, которая распространяется вдоль жидкости. Это явление известно, как акустический шок.

Ударная волна, генерируемая производит большое давление, известное как гидравлический удар. Это значение может достигать величины 35 МПа.

Рассчитаем взрывное расширения азота.

Предположим, что масса M плотного азота прорезает поверхностный слой и оказывается заключенными в полости объема V , где азот быстро

нагревается до уровня температуры окружающей среды. Затем он становится газообразным, и гидростатическое давление в полости быстро увеличивается. Это давление можно рассчитать через стандартную зависимость температуры, объема и плотности для идеального газа:

$$PV = mRT \quad (2)$$

где m – массовая плотность азота в его фазе; R – универсальная газовая постоянная (296,8 Дж*кг*К), T – температура окружающей среды.

Можно заметить, что давление газа можно усилить, предварительно нагрев поверхность.

В результате вычислений получаем:

Можно заметить, что гидростатическое давление можно усилить, предварительно нагрев поверхность.

Вычислим третью основную составляющую криогенной резки – термический шок. Как уже говорилось ранее, вычисления будут проводиться для ст3сп.

Существуют две модели оценки пикового растягивающего напряжения [5,6]. Одновременное использование этих двух моделей позволяет вынести наиболее точную оценку.

Итак, пусть в декартовой системе тело лежит в полупространстве $x \geq 0$. Любое движение перпендикулярно плоскости $x = 0$, который совпадает с поверхностью. Поэтому смещения носят характер: $u_y = u_z = 0$ и $u_x = u(x, t)$. Соответственно, температура поля принимается в виде: $T = T(x, t)$. В приближении первого порядка, игнорирующем часть термомеханической связи, основные уравнения для линейной термоупругой задачи можно записать в виде:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2}$$

$$\sigma = (\lambda + 2\mu)\varepsilon - \beta T \quad (2)$$

И

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + P \quad (3)$$

В обеих моделях (Singh 1967; Fressengeas & Molinari 1980) замкнутые формы решений этой системы уравнений в частных производных получены с помощью регулярных методов возмущения. Из этих результатов видно, что оценка первого порядка максимального напряжения, полученная из любой модели, когда глубина проникновения достаточно мала, будет иметь вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{\beta q}{\rho C V} = A\beta/CV \quad (4)$$

где $V = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$ – скорость упругих волн.

Время, необходимое для достижения этой скорости равно $T \cong 8k/\rho CV^2$.

Используя значение теплового потока $q = 5 * 10^8$ Вт*м⁻² и данные для мягкой стали E24 $\rho = 7800$ кг/м³, $V = 5835$ м/с, $\beta = -500$ МПа, $k = 54$ Вт и $C = 300$ Дж, оценка максимального растягивающего напряжения, полученного из этой зависимости, достигает 55 МПа в течении очень короткого времени. Из-за эффекта взрыва, результирующее напряжение и скорость деформации кажутся достаточно большими, чтобы способствовать возникновению трещины.

Ввиду совокупности напряжений, вызываемых струей жидкого азота, ударной силы струи на материал, воздействию абразива на материал предполагаются следующие оценки способности резки:

Струей жидкого азота – мягкие материалы – пластик, бетон.

Струей жидкого азота с добавлением абразивного CO₂ - пластик, бетон, чистый алюминий, потенциально – хладноломкие металлы.

Струей жидкого азота с добавлением классических абразивов – практически любой материал.

Выводы и перспективы на будущее.

В результате интерпретации полученных результатов исследования, можно сделать следующие выводы:

Описанная теоретическая модель установки может обеспечивать когерентную жидкую струю жидкого азота с абразивными добавками и без них. Предсказывается, что струя жидкого азота демонстрирует поведение, аналогичное струе простой воды, но с меньшей глубиной пропила и с меньшей шириной пропила.

Тем не менее, для процесса, который может быть использован в промышленности, необходимы дальнейшие исследования. Так, материалы, планирующиеся для использования в установке сухой резки жидким азотом, должны быть проверены. Другим аспектом, который необходимо исследовать, является влияние температуры окружающей среды перед соплом. Это может существенно повлиять на форму струи и время фазового перехода.

Другое исследование, которое необходимо выполнить, — это моделирование струи жидкого азота под большим давлением. Это необходимо в связи с неустойчивостью среды. Данное исследование предскажет оптимальное расстояние струеформирующей насадки до установки.

Список литературы

1. S. Fijan, M. S. Determining the Disinfection of Textiles In Compressed Carbon Dioxide Using Various Indicator Microbes/ J. Appl. Microbiol. Volume112, Issue3 (2012). – pp 475-484
2. Laribou, H. 2010a Surface damage and treatment by impact of a low temperature nitrogen jet/ H. Laribou, C. Fressengeas, D. Entemeyer, V. Jeanclaude, A. Tazibt. In Int. Conf. on Advances in Materials and Processing Technologies (eds F. Chinesta, Y. Chastel & M. El Mansori), vol. 1315, PTS I and II Book Series. Paris, France: AIP Conference Proceedings. pp. 1222-1227.

3. Ducos, M. D. 2008 New LN2 cryogenic process to strip parts thermal spray coated/ M. D. Ducos, F. Richard, O. Matile, R. Warnecke, H. Hume, T. Debionne. In Int. Thermal Spray Conf. and Exposition: Thermal Spray Crossing Borders (DVS-ASM), pp. 695-700.
4. Singh, D. V. 1967 Thermal stress in a semi-infinite medium due to constant heat flux at the surface/ D. V. Singh. Arch. Budowy Masz. 14. pp 65-72.
5. Fressengeas, C. 1980 Transient stress induced by thermal shock/ C. Fressengeas, A. Molinari. J. Thermal Stresses 3, doi:10.1080/01495738008926976. pp 379-390.
6. Степанов, Ю.С. Определение величины деформации материала в зоне резания при раскрое водоледяным инструментом [Текст] / Ю.С. Степанов, А.Н. Качанов, М.А. Бурнашов // Ползуновский Вестник. - 2009. - № 1-2. - С. 273-275.
7. Степанов, Ю.С. Методика расчета технологических параметров резания неметаллических материалов водоледяным инструментом [Текст] / Ю.С. Степанов, А.Н. Качанов, М.А. Бурнашов // Ползуновский Вестник. - 2009. - № 1-2. - С. 276-278.
8. Uhlmann, E. High-pressure jet cutting with liquid CO₂/ E. Uhlmann, P. John. In: Proceedings of the 23rd international conference on Water Jetting in Seattle, USA. Hrsg.: BHR Group, 2016. – pp 315.
9. Cai, C. 2014. Experimental study of the effect of liquid nitrogen cooling on rock pore structure/ C. Cai, G. Li, Z. Huang, Z. Shen и др. J. Nat. Gas Sci. Eng. 21. – pp 507–517.

УДК 621.91.02

Чернышов М.О., Васильев Д.В., Киреев В.В.

Повышение прочности сменных режущих пластин и работоспособности сборных инструментов

Тюменский индустриальный университет, г.Тюмень

Аннотация: Приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния в сменных режущих пластин сборных инструментов, с применением метода конечных элементов. Показано влияние конструктивных параметров сменных режущих пластин на напряжения и деформации, возникающие в процессе резания. Приведена разработанная конструкции режущей пластины повышенной прочности и сборного резца повышенной работоспособности.

Abstract: The results of the calculation of the stress-strain state in interchangeable cutting plates of modular tools using the finite element method are presented. The influence of design parameters of replaceable cutting plates on stresses and strains arising during the cutting process is shown. The developed designs of a cutting plate of increased strength and a precast cutter of increased working capacity are given.

Ключевые слова: Прочность, работоспособность, сменные режущие пластины, твердый сплав, сборные инструменты.

Keywords: Strength, performance, interchangeable cutting inserts, carbide, prefabricated tools.

В настоящее время невозможно обеспечить снижение затрат и повышение конкурентоспособности продукции без использования современных технологий, оборудования, инструмента. Одним из способов повышения эффективности механической обработки является переход от использования режущего инструмента с напайными режущими элементами к сборному с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП).

Эффективность режущих инструментов можно оценить по-разному. Обычно критериями оценки являются инструментальные затраты на одну деталь и общие затраты на обработку одной детали.

Для расчета инструментальных затрат достаточно знать стоимость инструмента и рассчитать или определить экспериментальным путем его стойкость.

Недостаточная стойкость вызывает рост количества наладок и увеличение простоев оборудования. При выборе слишком щадящего режима резания стойкость инструмента возрастет, но время обработки детали увеличится [1].

Непрерывно повышающиеся требования к производительности и качеству обработки, широкая автоматизация в машиностроении обусловили необходимость разработки системы сборных инструментов с механическим креплением СМП [2].

В работе [3] приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния СМП и сформулированы следующие требования к разрабатываемым конструкциям сборных инструментов и СМП повышенной прочности:

- увеличение угла при вершине пластины ϵ , как представлено на рисунке 1 ;
- обеспечение при закреплении пластины в угловое гнездо корпуса инструмента гарантированного прижима по упорным боковым граням и опорной поверхности.

В соответствии с этими требованиями были разработана новая режущая пластина повышенной прочности [4], которая схематично представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Классификация форм СМП по прочности в зависимости от величины угла при вершине ϵ (*новые формы пластин представленные в работах [3])

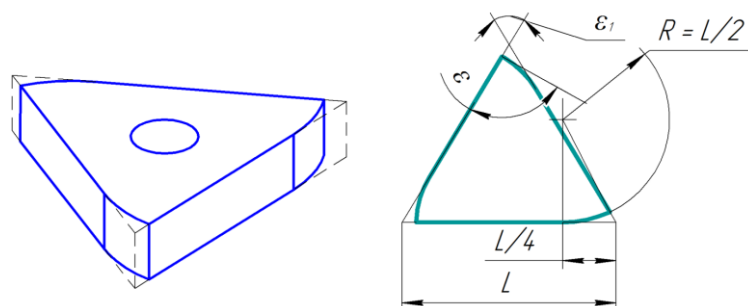


Рис. 2. Сменная режущая пластина повышенной прочности [4]

Разработанные режущие пластины, выполнены на основе равноугольных многогранников. Для повышения работоспособности вспомогательная режущая кромка СМП выполнена в виде дуги вписанной в четверть длины стороны многогранника L , при этом радиус R криволинейной режущей кромки равен половине длины стороны многогранника.

Для трехгранных режущих пластин стандартной ($\varepsilon=60^\circ$) и разработанной формы ($\varepsilon=90^\circ$) был проведен сравнительный расчет напряжений методом конечных элементов при нагружении режущей кромки удельной нагрузкой P_i для следующих условий резания: черновая обработка, обрабатываемый материал – сталь нержавеющая, материал режущей пластины – твердый сплав марки ВК8.

Результаты расчета приведены в виде картин изолиний главных напряжений σ_1 на рисунке 3 и эпюр распределения опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках трехгранных режущих пластин разных форм на рисунке 4. На рисунке 4,б на оси абсцисс L цифрами обозначены узловые точки на главной режущей кромке (рисунок 4, а), в том числе 1-5 – участок нагружения. На оси ординат показаны распределения напряжений σ_1 на режущей кромке пластины, в % от приложенной нагрузки P_i .

Анализ графика эпюр распределения напряжений растяжения σ_1 показал, что изменение формы вспомогательной режущей кромки пластины с прямой на криволинейную позволило уменьшить величину опасных напряжений растяжения σ_1 на нагруженном участке главной режущей кромки примерно в 2 раза, как представлено на рисунке 4, б. Наиболее опасным участком на главной режущей кромки является зона конца участка нагружения (узловые точки 5-6).

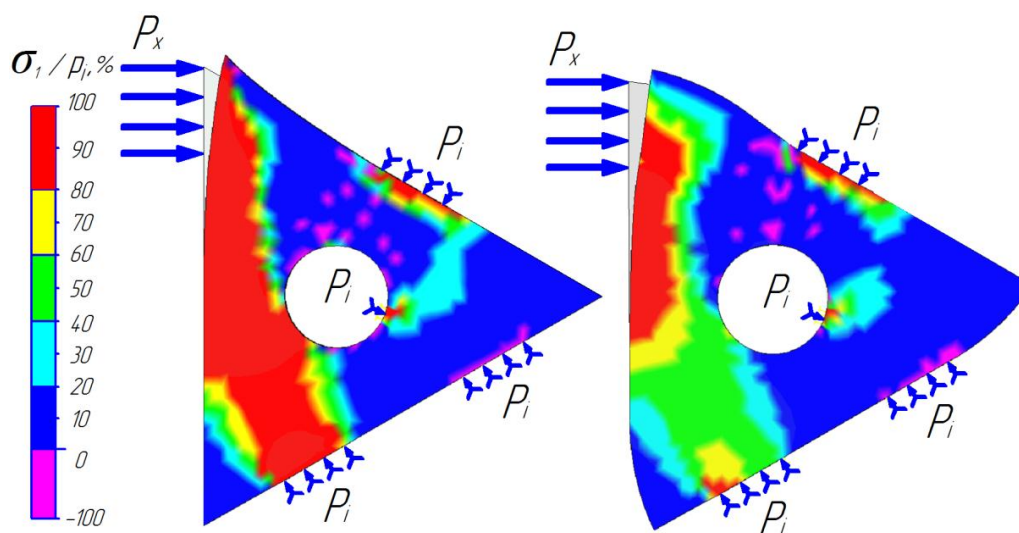


Рис. 3. Картины изолиний главных напряжений σ_1 в трехгранных пластинах разных форм ($\varepsilon=60^\circ$ и $\varepsilon=90^\circ$), P_i - приложенная удельная нагрузка, R_i – реакция в упорных точках, P_x – силы закрепления режущей пластины (перемещения увеличены в 3000 раз)

Для проверки результатов расчета были проведены экспериментальные исследования при точении стали 1Х18Н9Т. В качестве режущего инструмен-

та использовали два проходных упорных резца со сменными режущими пластинами из ВК8, причем первый резец был оснащен стандартной трехгранной режущей пластиной с геометрией: передний угол $\gamma = 5^\circ$; задний угол $\alpha = 5^\circ$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 10^\circ$; главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 30^\circ$ и углом при вершине $\varepsilon = 60^\circ$. Второй резец был оснащен разработанной сменной твердосплавной режущей пластиной с вспомогательной режущей кромкой выполненной в виде дуги с геометрией: передний угол $\gamma = 5^\circ$; задний угол $\alpha = 5^\circ$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 10^\circ$; главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$; вспомогательным углом в плане $\varphi_1 \approx 3^\circ$ и углом при вершине $\varepsilon \approx 90^\circ$ (рис.5).

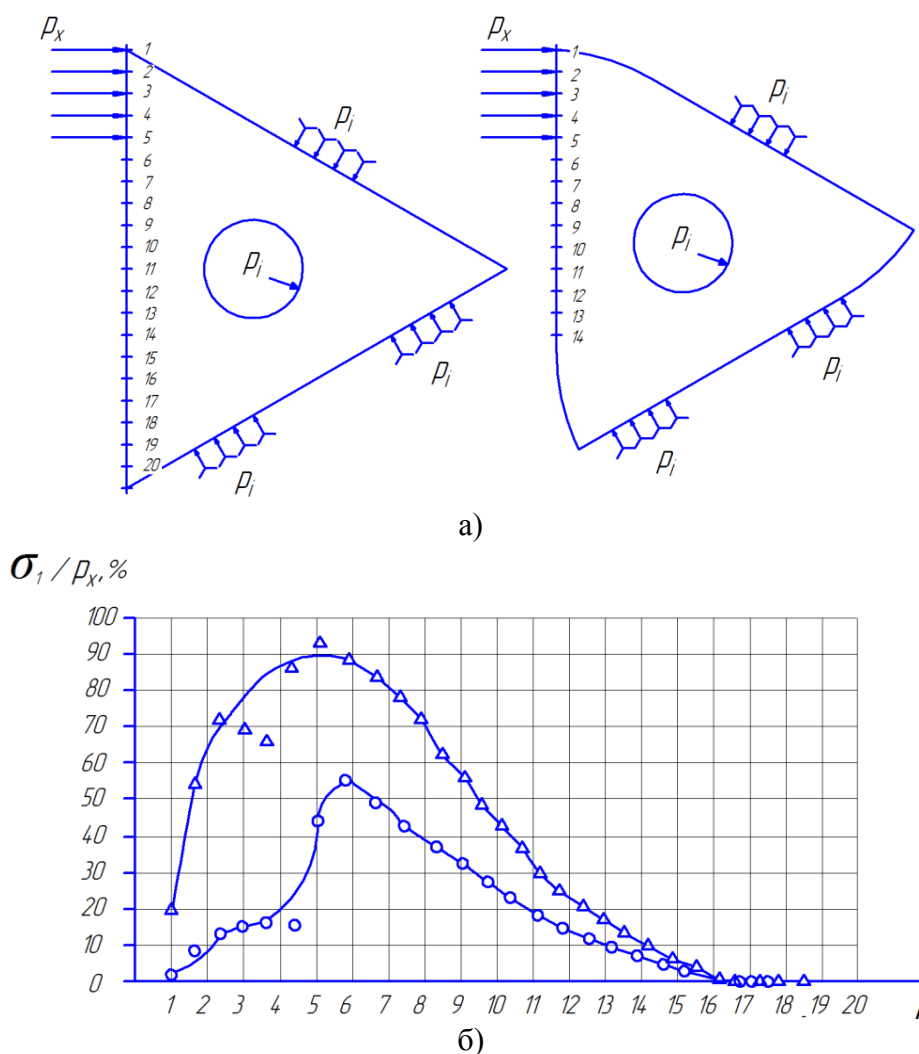


Рис. 4. Результаты исследования влияние формы режущей пластины на распределение опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках:

- а) схема нагружения пластин разных форм;
 б) зависимости распределения опасных напряжений растяжения σ_1 на главных режущих кромках трехгранных режущих пластинах разных форм ($\varepsilon=60^\circ$ и $\varepsilon=90^\circ$)

Исследования проводили при режимах резания: подаче $s = 0,4$ мм/об, глубине резания $t = 1,5$ мм и разных скоростях резания (в интервале 13 - 84 м/мин).



Рис. 5. Фотография реза с разработанной режущей пластиной повышенной прочности

Анализ результатов эксперимента позволил установить, что для разработанной режущей пластины изменение формы вспомогательной режущей кромки, с прямолинейной на криволинейную позволило снизить силы резания P_z и увеличить работоспособность пластины, измеренную путем резания приблизительно в два раза, на рисунке 6. Результаты теоретических расчетов хорошо коррелируют с экспериментальными данными.

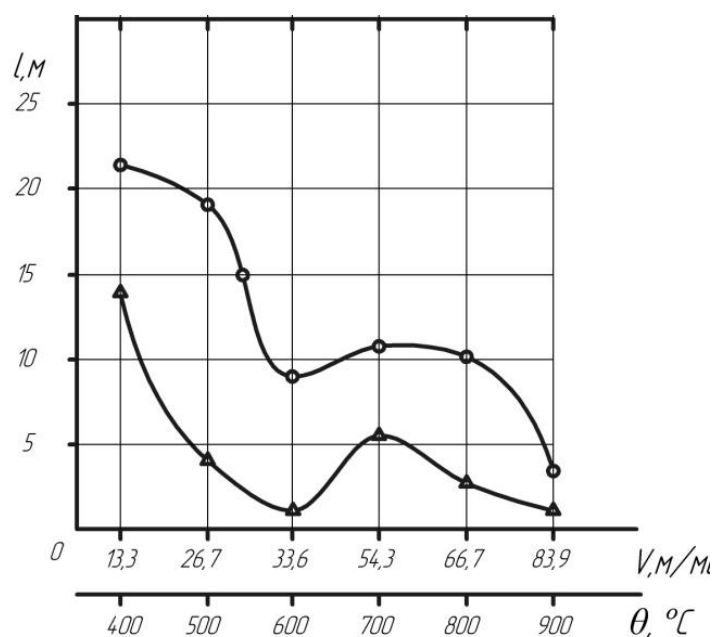


Рис. 6. Длина пути резания стандартной ▲ и разработанной ● режущих пластин

Таким образом, доказано, что увеличение угла при вершине ϵ позволяет снизить величину опасных напряжений растяжения σ_1 и соответственно повысить работоспособность режущих пластин сборных инструментов. На основе этих результатов разработана новая форма режущей пластины повышенной работоспособности.

Список литературы

1. Васин, С. А. Проектирование сменных многогранных пластин. Методологические принципы / С. А. Васин, С. Я. Хлудов. – Москва : Машиностроение, 2006. – 352 с.
2. Режущие инструменты: учебное пособие / В. А. Гречишников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 388 с.
3. Артамонов, Е. В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов / Е. В. Артамонов, Т. Е. Помигалова, М. Х. Утешев. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011 – 152 с.
4. Пат. № 2531336 Российская федерация, МПК В23В 27/16. Режущая пластина для черновой и чистовой обработки / Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев, В.В. Киреев, М.О. Чернышов; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). - №2013129883; заявл. 28.06.2013; опубл. 20.10.2014; Бюл. №29.

УДК 622.692.4

Юлдошев Д., Коркин Т.А., Ишкина Е.Г.

Стресс коррозия магистральных газопроводов

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос стресс коррозии магистральных газопроводов, который ведет к высокой хрупкости и растрескиванию металла, что в последствии приводит к необратимым последствиям.

Abstract: The article deals with the stress of corrosion of gas pipelines, which leads to high fragility and cracking of the metal, which subsequently leads to irreversible consequences.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, коррозия, пластичность, растрескивание, напряжения.

Keywords: main pipelines, corrosion, ductility, cracking, stress.

Система магистральных нефте- и газопроводов оказывает существенное влияние на экологическую обстановку, что особенно заметно при авариях. Поэтому изучение механизмов явлений, приводящих к авариям, имеет важное научное и практическое значение.

Анализируя опыт эксплуатации магистральных трубопроводов, можно выделить три наиболее значимые причины их разрушения: коррозионный износ, усталость (или малоцикловое разрушение), стресс-коррозия. Все другие явления менее значительны, но могут оказывать ускоряющее действие на те или иные механизмы разрушения (например, старение металла, которое выражается в снижении пластичности, ускоряет усталость).

Наиболее грозное из перечисленных явлений на магистральных газопроводах (МГ) — стресс-коррозия. Стресс-коррозия с каждым годом прогрессирует. К 2000 г. — моменту утверждения последних редакций СНиП 2.05.06—85* и СНиП III -42—80* на МГ количество разрушений по причине стресс-коррозии составляло 30 %, а в настоящее время — более

50 %. Однако строительными нормами и правилами не предусматривается защита магистральных трубопроводов от этого явления. Такие слова, как стресс-коррозия или коррозионное растрескивание под напряжением, в этих документах отсутствуют.

При стресс-коррозии металл газопроводов неравномерно охрупчивается и растрескивается, в большинстве случаев начиная с наружной поверхности. На некоторых участках за 20–25 лет эксплуатации глубина трещин достигает половины толщины стенки, что соответствует исчерпанию всех запасов прочности, предусмотренных нормами и проектами. После этого происходит разрыв трубы, выброс газа под большим давлением, самовозгорание с высотой пламени до нескольких десятков метров. При взрыве фрагменты трубопровода оказываются выброшенными на большие расстояния от места разрушения; выжигается поверхность земли, иногда до 100 м и более от очага разрушения. Таким образом, стресс-коррозия МГ представляет собой большую опасность как для самих трубопроводов, так и для окружающей среды и населения.

Механизм протекания стресс-коррозии отличается от механизмов протекания других видов коррозии. Анализ большого количества разрушений показал, что на стресс-коррозию влияют факторы, на первый взгляд никак не связанные друг с другом. Поэтому эксперты, исследуя разрушения МГ, проложенных в разных при-родноклиматических условиях, эксплуатирующихся при разных режимах, находящихся под воздействием разных факторов, приходили к совершенно различным результатам и делали иногда противоречивые выводы. Сами эксперты являются приверженцами разных теорий, только этим можно объяснить тот факт, что до сих пор не установлены общепризнанные механизмы протекания стресс-коррозии на МГ, не разработаны способы защиты.

Коррозия в зависимости от механизма реакций, протекающих на поверхности металла, подразделяется на химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия представляет собой процесс разрушения металла при взаимодействии с сухими газами или жидкими неэлектролитами по законам химических реакций и не сопровождается возникновением электрического тока. Продукты коррозии в этом случае образуются непосредственно на всем участке контакта металла с агрессивной средой.

Электрохимическая коррозия (коррозионное разрушение) возникает под действием коррозионно-активной среды, разнообразна по характеру, вызывает большинство коррозионных разрушений трубопроводов и оборудования. Электрохимическая коррозия протекает с наличием двух процессов — катодного и анодного.

В мире со стресс-коррозией впервые столкнулись более 100 лет назад при сооружении и эксплуатации крупнотоннажных судов. Тогда причину связывали с морской водой. Затем стресс-коррозия проявилась на силовых элементах атомных станций. Причину связывали с радиационным

облучением. Потом наиболее часто стресс-коррозия стала проявляться на теплоэнергетическом оборудовании ТЭЦ. Там причину связывали с действием на металл перегретого водяного пара.

В химической промышленности стресс-коррозия проявилась на сосудах, работающих под давлением, в которых хранится водород. Это стимулировало исследования взаимодействия металлов с водородом. Результаты исследований помогли понять причины растрескивания некоторых сварных швов (если сварка выполняется во влажной среде, то в сварочной дуге молекулы воды разлагаются на кислород и водород, затем водород проникает в расплав металла).

Когда стресс-коррозия стала происходить на МГ (в мировой практике — 60-е годы, в России — 80-е), разные специалисты связывали это с различными факторами: с климатическими условиями, рельефом местности, температурой, вибрацией, составом грунтов, даже с микробиологическим составом почвы. Одним из нерешенных оставался вопрос: почему стресс-коррозия не происходит на нефтепроводах, хотя условия их эксплуатации не отличаются от газопроводов? Этот вопрос многих исследователей приводил к выводу, что причина стресс-коррозии находится в перекачиваемом продукте — природном газе. Но тут же возникал другой вопрос: почему стресс-коррозия не наблюдается на газопроводах системы газораспределения, хотя продукт тот же самый?

Не сумев ответить на эти простые вопросы, решили, что механизм стресс-коррозии МГ не установлен. И такое состояние, похоже, всех устраивает. Никто особо не выражает тревогу по этому поводу. Существующие недостатки системы легко и удобно списать на неизученное явление.

Создана цельная теория стресс-коррозии МГ, которая дает ответы на все поставленные вопросы. Пока остановимся на проявлениях человеческого фактора, связанных с данной проблемой.

Дело не в недостатке исследователей, знаний, средств на решение проблемы, а в человеческом факторе в разных проявлениях. Приведем некоторые, наиболее видимые, из них.

1. Для окончательного решения данной не очень сложной научно-технической задачи приходится преодолевать большие организационные трудности, часто искусственного характера. Любые методы, материалы, технологии, которые рекомендуется использовать на МГ (в том числе позволяющие бороться со стресс-коррозией), требуют не только изложения сути и обоснования эффективности, но и повторных испытаний, экспертиз, согласований, разрешений на применение и т.д. Даже после всего этого еще не факт, что по-настоящему эффективные методы будут использованы на практике. Развернется конкурсная борьба, в основном только по цене. Вмешаются «коммерческие» интересы влиятельных лиц и курируемых организаций.

2. Постепенно сформировалась система управления, когда в офисах практически все заняты составлением друг другу справок, планов, отчетов.

тов, актов, протоколов и других аналогичных документов внутреннего пользования. При этом все очень заняты, с трудом успевают составлять эти бумаги. А за решение конкретной научно-технической проблемы (защиты от стресс-коррозии) никто лично не отвечает, хотя более значительной проблемы и нет на МГ.

3. В последние годы наметились признаки искусственного увеличения объема ремонтных работ на МГ. Создается ощущение, что факт существования «неизученной» проблемы стресс-коррозии кое-кем используется как средство добывания денег.

4. Сами ученые и эксперты не едины в своем представлении о причинах явления; их можно разделить на три группы:

первая включает тех, кто имеет четкое представление о механизмах явления и способах защиты от стресс-коррозии, но их немного;

вторая — тех, у кого не сформировалась своя модель стресс-коррозии, поэтому слушают многоголосый хор других «специалистов», не имея возможности выделить истину. В этом хоре самый громкий голос у тех, кто ближе к финансовым потокам;

третья объединяет тех, для кого важнее сам процесс исследований, а не результат. Они понимают, что с момента решения данной проблемы финансирование исследований в этом направлении прекратится.

5. Чем больше людей, рассуждающих о стресс-коррозии, тем сложнее что-то изменить. Все считают себя знатоками: что-то слышали, читали акты, видели разрушение. Чем больше людей владеет какой-то (может даже ложной) информацией, тем сложнее ее изменить, поправить. Видимо, закон инерции применим не только к движущимся физическим массам, но и к информации.

6. В общем-то, положение дел устраивает всех. Привыкли. Зачем что-то менять.

Перейдем к изложению физической модели явления стресс-коррозии.

Попытаемся ответить на вопросы:

1. Почему на МГ стресс-коррозия наблюдается, а на других трубопроводах (нефте-, нефтепродуктопроводы, промысловые, в системе газораспределения) нет?

2. Почему на резервуарах и другом оборудовании нефтегазового комплекса стресс-коррозия не замечена?

3. В чем отличительная особенность МГ?

Как показывает простейший анализ, МГ (на тех участках, где обнаруживается стресс-коррозия) имеют большой диаметр и эксплуатируются под большим рабочим давлением. Это приводит к тому, что механические напряжения в стенке МГ значительно выше, чем в стенках других трубопроводов. От действия рабочего давления кольцевые (окружные) напряжения больше осевых примерно в 2 раза. Это объяс-

няет тот факт, что большинство обнаруженных стресс-коррозионных трещин ориентировано в продольном направлении — перпендикулярно наибольшим окружным напряжениям.

Если бы стресс-коррозия определялась только уровнем механических напряжений (которые одинаковы по толщине стенки трубы), то охрупчивание и растрескивание происходили бы одинаково интенсивно по всей толщине стенки трубы. То, что процесс развивается только со стороны внешней поверхности, даёт повод предположить, что на внешней поверхности трубопровода происходит какой-то отличительный процесс, а стресс-коррозия является только следствием этого процесса. Если разобраться с этим процессом, то, возможно, сумеем получить способ управления стресс-коррозией, следовательно, способ тормозить процесс. Тот факт, что металл охрупчивается, приводит к мысли, что в металл проникают какие-то элементы (атомы, молекулы, что-то ещё) со стороны внешней поверхности и блокируют дислокации (известно, что пластичность металлов обеспечивается подвижностью дислокаций). Проникать в металл другие элементы (углерод, азот, водород и др.) могут только при высоких температурах, сопоставимых с температурой плавления. При обычных температурах, при которых происходит эксплуатация МГ, никакие молекулы не могут проникать в металл (во всяком случае, скорости возможного проникновения молекул не сопоставимы с теми явлениями, которые наблюдаются при стресс-коррозии). Проникающей способностью обладают элементарные частицы: протоны, нейтроны, α -частицы и другие. Но таких частиц много и они везде существуют в виде радиационного фона, а стресскоррозия происходит не везде. Следовательно, надо искать источники элементарных частиц на поверхности подземных трубопроводов (кстати, описанный вид стресс-коррозии происходит только на подземных участках МГ). Такой источник существует и он связан с электрохимической защитой трубопроводов. Как известно, подземные трубопроводы находятся под двойной защитой от коррозии: изоляционное покрытие плюс электрохимическая защита. Последняя состоит в том, что трубопровод поддерживается под электрическим потенциалом порядка — 1... – 3 вольт по отношению к грунту. Это замедляет электрохимические процессы, приводящие к растворению металла в местах с нарушенной изоляцией. Но это — по норме; фактически картина несколько другая. Большинство МГ имеет пленочную изоляцию, нанесённую в полевых условиях. При укладке и засыпке трубопровода в траншею пленочное покрытие сползает вниз вместе с грунтом и образует множество гофр на уровне ниже горизонтального диаметра сечения. Кроме того, клеящий слой в течение короткого времени теряет адгезионные свойства и пленка отслаивается от поверхности трубопровода. Таким образом, пленочное покрытие превращается в своеобразную оболочку, внутри которой находится трубопровод, а между трубой и оболочкой находится грунтовая во-

да. Распределение электрического потенциала в такой системе будет совершенно отличаться от той, которая должна быть по норме. В грунтовой воде много всяких ионов, в том числе катионов водорода (H^+), которые окружены полярными молекулами воды. Эти образования имеют общий положительный заряд и поэтому притягиваются к отрицательно заряженной поверхности трубы. Там катион водорода получает недостающий электрон от металла, становится атомом, освобождается от своего окружения. При этом единственный электрон атома водорода, будучи валентным, продолжает входить в состав электронного облака металла, а оставшееся ядро представляет не что иное, как протон, то есть элементарную частицу. Далее эта элементарная частица (протон) может легко проникать вглубь металла, создавая новые объединения с другими элементами. Наиболее вероятны объединения с атомами углерода, водорода, кислорода. Все такие объединения приводят к искажениям кристаллической решётки металла, которые и являются причиной блокировки дислокаций. Снижение подвижности дислокаций приводит к снижению пластичности металла, то есть к охрупчиванию. Кроме того, накапливаясь в металле, такие образования приводят к росту внутренних напряжений, которые складываются с внешними напряжениями и приводят к растрескиванию. Другие элементы (кроме водорода) не могут привести к такому результату, так как ни один из них при потере валентного электрона не становится элементарной частицей, способной проникать в металл при обычной температуре. Таким образом, вторым обязательным условием протекания стресс-коррозии является наличие источника атомарного водорода на поверхности металла труб. Кроме рассмотренного источника (грунтовая вода + ЭХЗ) могут быть другие источники атомарного водорода, например, сероводород или продукты жизнедеятельности бактерий (биокоррозия). Естественно, на скорость стресс-коррозии влияет множество факторов, например: солевой состав и влажность грунта, кислотность, температурный режим, вибрации, остаточные напряжения в трубопроводе, напряжения от всех видов нагрузок. Поэтому разные ученые, занимаясь одной и той же проблемой, часто приходят к разным умозаключениям и выводам [3-11]. В этом состоит еще одно проявление человеческого фактора. Авторы не настаивают на абсолютной истинности предложенного механизма протекания стресскоррозии МГ. Но с точки зрения данного механизма легко объясняются все наблюдаемые особенности и закономерности. Если этот механизм верен, то он даёт и ключ к выработке эффективных методов борьбы со стресс-коррозией.

При выборе изоляционных материалов выдвигается целый ряд требований, которые, несомненно, направлены на обеспечение качества. Но в этом ряду требований часто не выделяется самое важное и необходимое качество – способность противостоять стресс-коррозии длительное время. В итоге, выбор падает на такие изоляционные покрытия, которые набрали

максимальное количество баллов по совокупности не самых основных характеристик (прочность покрытия, нетоксичность, невысокая стоимость и т. д.), где основному показателю не нашлось места. В качестве одного из перспективных предложений следует рассмотреть свойства нефтеполимера “асмол” (асфальтосмолистый олигомер) [12]. Как показали исследования, механизм защитного действия этого материала складывается из нескольких составляющих: 1) создание на поверхности металла физического барьера для грунтовой воды и ее компонент (обычное свойство всех изоляционных покрытий); 2) образование адгезионной связи покрытия с металлом трубы за счет химического взаимодействия входящих в состав асмола функциональных групп - радикалов (другие изоляционные материалы химической адгезией не обладают); 3) насыщение поверхности металла атомами углерода, что смещает электрохимический потенциал металла в сторону более инертного состояния (этим свойством другие покрытия не обладают). Главное отличительное свойство асмола состоит в том, что со временем его защитные свойства не ослабевают, а усиливаются. Адгезия обеспечивается не клеящим слоем, как у большинства других изоляционных материалов, а самим асмолом, который химически активен по отношению к металлу. Химическая активность изоляционного материала по отношению к металлу трубы до сих пор считалось недопустимым и именно за это свойство асмол подвергается критике (человеческий фактор). Однако, как оказалось, химическая активность приводит к образованию дополнительного защитного слоя толщиной 30...50 микрон (подобно алюминию, который защищает себя прочной оксидной пленкой). Со временем толщина и плотность этого слоя повышаются. Он становится непроницаемым для ионов водорода, отягощенных окружением полярных молекул воды. Таким образом, химическая активность асмола в данном случае является ценным положительным свойством. Накопленные к настоящему моменту сведения позволяют утверждать, что данное изоляционное покрытие способно затормозить коррозию подземных трубопроводов не только по механизмам потери металла (общую и язвенную коррозию), но и по механизму стресс-коррозии. Таким образом, при правильном разрешении проблем, связанных с человеческим фактором в разных проявлениях, за относительно короткое время и максимально эффективно можно решить и проблемы защиты МГ от стресс-коррозии. Для этого имеются все необходимые предпосылки.

Список литературы

1. Абдуллин, И. Г. Диагностика коррозионного растрескивания трубопроводов / И. Г. Абдуллин, А. Г. Гареев, А. В. Мостовой. – Уфа : Гилем, 2003. - 100 с.
2. Коррозионное растрескивание труб магистральных газопроводов / М. З. Асадуллин [и др.] // Газовая промышленность. – 2000. - № 2. – С. 38-39.
3. Коррозионное растрескивание на магистральных газопроводах / А. С. Болотов [и др.] // Газовая промышленность. – 1994. - № 6. – С. 12-15.

4. Галиуллин, З. Т. Обзор исследований по коррозионному растрескиванию под напряжением, проведённых с 1996 по 1998 гг / З. Т. Галиуллин, Д. Веслинг // Семинар по коррозионному растрескиванию трубопроводов под напряжением. – Москва : 1998. -С. 5-11.

5. Мазель, А. Г. О стресс-коррозии газопроводов / А. Г. Мазель // Газовая промышленность. – 1993. – №7. – С. 36-39.

6. Отт, К. Ф. Стресс-коррозия на газопроводах. Гипотезы, аргументы и факты. Обзорная информация / К. Ф. Отт. – Москва : ИРЦ Газпром. – 1998. – 73 с.

7. Притула, В. В. Механизмы и кинетика стресс-коррозии подземных газопроводов. Защита от коррозии в газовой промышленности / В. В. Притула. – Москва : ИРЦ Газпром. 1997. – 56 с.

8. Состояние проблемы стресскоррозии в странах СНГ и за рубежом. Обзорная информация. Серия: Защита от коррозии оборудования в газовой промышленности / Т. К. Сергеева [и др.]. – Москва : ИРЦ «Газпром». – 1997. – 99 с.

9. Асмол и новые изоляционные материалы для подземных трубопроводов / Н. М. Черкасов [и др.]. – Москва : Недра, 2005. - 155 с.

ФЗ №436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст.11
---------------	--

Научное издание

НЕФТЕГАЗОВЫЙ ТЕРМИНАЛ
Выпуск 17

Материалы
Международной научно-технической конференции
«Транспорт и хранение углеводородного сырья»
(25-26 апреля 2019 года)

Том 2

Технический редактор
Е. В. Огудова

В авторской редакции

Подписано в печать 11.10.2019. Формат 60x90 1/16. Усл. печ. л. 10,87.
Тираж 500 экз. Заказ № 1605/1607.

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.