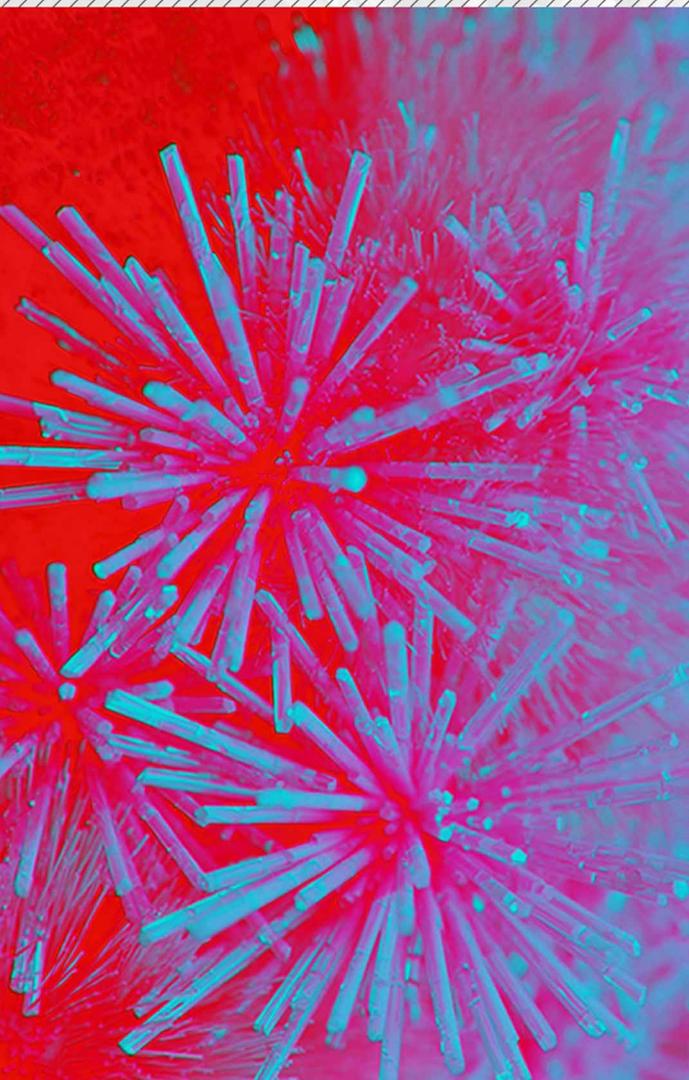




СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ СБОРНИК

ПО МАТЕРИАЛАМ XVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
Г. БЕЛГОРОД, 30 СЕНТЯБРЯ 2016 Г.



2016 № 9-1

ISSN 2413-0869

АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(АПНИ)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

2016 • № 9-1

Периодический научный сборник

*по материалам
XVIII Международной научно-практической конференции
г. Белгород, 30 сентября 2016 г.*

ISSN 2413-0869

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

2016 • № 9-1

Периодический научный сборник

Выходит 12 раз в год

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-65905 от 06 июня 2016 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Учредитель и издатель:

ИП Ткачева Екатерина Петровна

Главный редактор: Ткачева Е.П.

Адрес редакции: 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а

Телефон: +7 (919) 222 96 60

Официальный сайт: issledo.ru

E-mail: mail@issledo.ru

Информация об опубликованных статьях предоставляется в систему **Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)** по договору № 301-05/2015 от 13.05.2015 г.

Материалы публикуются в авторской редакции. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте: **www.issledo.ru**

По материалам XVIII Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий» (г. Белгород, 30 сентября 2016 г.).

Редакционная коллегия

Духно Николай Алексеевич, директор юридического института МИИТ, д.ю.н., проф.

Васильев Федор Петрович, профессор МИИТ, д.ю.н., доц., чл. Российской академии юридических наук (РАЮН)

Кондрашихин Андрей Борисович, профессор кафедры экономики и менеджмента, Институт экономики и права (филиал) ОУП ВО «Академия труда и социальных отношений» в г. Севастополе, д.э.н., к.т.н., проф.

Тихомирова Евгения Ивановна, профессор кафедры педагогики и психологии Самарского государственного социально-педагогического университета, д-р пед. наук, проф., академик МААН, академик РАЕ, Почётный работник ВПО РФ

Алиев Закир Гусейн оглы, Институт эрозии и орошения НАН Азербайджанской республики к.с.-х.н., с.н.с., доц.

Стариков Никита Витальевич, директор научно-исследовательского центра трансфера социокультурных технологий Белгородского государственного института искусств и культуры, к.с.н.

Ткачев Александр Анатольевич, доцент кафедры социальных технологий НИУ «БелГУ», к.с.н.

Шаповал Жанна Александровна, доцент кафедры социальных технологий НИУ «БелГУ», к.с.н.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»	5
<i>Балаба В.И.</i> БУРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	5
<i>Булдаков Н.С.</i> ОСОБЕННОСТИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА	7
<i>Васильев Д.А., Бисеров Д.В., Вьюшин Н.Н., Михайлов Д.В.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ	11
<i>Вяткин А.Г., Антонюк Ф.И., Бысов С.А., Зенкин Н.В.</i> ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ПРИ ОСАДКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОКОВОК	15
<i>Голубь Д.И., Лисицкий Л.О., Говоров Н.Ю.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	18
<i>Голубь Д.И., Лисицкий Л.О., Говоров Н.Ю.</i> РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	20
<i>Зарянкин А.Е., Рогалев А.Н., Егоров А.А., Худякова В.П.</i> ОТРЫВ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ОТ ОБТЕКАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И НОВЫЕ ПУТИ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ В ДИФФУЗОРАХ	22
<i>Землянский А.И., Марченко О.В., Цоцорин А.Н., Зенин В.В.</i> МОНТАЖ КРИСТАЛЛОВ НИТРИДА ГАЛЛИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СВЧ ПРИБОРОВ	29
<i>Землянский А.И., Марченко О.В., Цоцорин А.Н., Зенин В.В.</i> НИТРИД ГАЛЛИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	32
<i>Калинина Е.С.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ	34
<i>Коваленко И.А., Ласкин Д.В., Трифонова А.Ю.</i> СОВРЕМЕННЫЕ СТАЛИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ	37
<i>Костенко К.А.</i> ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ СТАНДАРТНЫХ ФОРМ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПОКОВОК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	39
<i>Курносова Е.Н.</i> РОЛЬ SDN В ЭВОЛЮЦИИ ТРАДИЦИОННЫХ СЕТЕЙ	44
<i>Максимова Д.Л., Герасимов И.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 2007	47
<i>Маслова В.А., Белокурова Е.В.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВЫ ДЛЯ ПИЦЦЫ ПУТЁМ ВНЕСЕНИЯ ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОЙ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ	50
<i>Осорова Р.С., Колесов М.В., Васильев П.В., Егорова А.Д.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СТРОИТЕЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА ИЗ СЫРЬЯ ЯКУТИИ	52
<i>Протодьяконов Е.И., Егорова А.Д.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ОРГАНО- МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГОРНОГО ПЕСКА ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ	55

Саитов В.Е., Котюков А.Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ	57
Слепцова Л.В., Сутакова Э.М., Местников А.Е. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ АНГОБА ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ЯКУТИИ	59
Стоянов А.А., Побединский В.В., Rogozin Н.В., Рембеза С.И. ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «FLIP – CHIP» ПРИ СБОРКЕ 3D БИС	62
Суровцева О.А. ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ	65
Суютинов С.И. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ АДАПТАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА	67
Такташев Р.Н., Иванова Т.С., Кириллова Л.П., Васильева И.Л. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ПОДБОРА ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН	70
Тимченко Н.А., Мирный В.И. АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ВИДОВ ДЕФЕКТОВ СТЕКЛЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ООО «АРТ-ГЛАС»	87
Титов Н.А. РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ	90
Устинов Р.А. АНАЛИЗ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ БАНКОВСКО-ФИНАНСОВОГО СЕКТОРА	93
Хитов С.Б. МОДЕЛЬ ВЫБОРА И ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ К ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА МЧС РОССИИ	100
Шинкин В.Н. ГИБКА ПЛОСКОЙ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ТРУБОФОРМОВОЧНОМ ПРЕССЕ	106
Шинкин В.Н. ГИБКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ТРУБОФОРМОВОЧНОМ ПРЕССЕ	115
Шинкин В.Н. К ВОПРОСУ О КРИВИЗНЕ ЛИСТА ПРИ ПРАВКЕ В ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ	123
Шинкин В.Н. К ВОПРОСУ О СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРАХ ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРАВКЕ СТАЛЬНОГО ЛИСТА	133

СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

БУРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Балаба В.И.

профессор кафедры бурения, д.т.н., профессор,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Россия, г. Москва

В статье рассматриваются отдельные аспекты оценки соответствия буровой технологической системы как совокупности функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях технологических процессов бурения скважины.

Ключевые слова: бурение скважин, буровая технологическая система, управление качеством, оценка соответствия.

Буровая технологическая система (БТС) представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения (буровой производственный комплекс), предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях технологических процессов бурения скважины [1-5]. Конечный результат процесса может иметь различную природу (материальный объект или некоторые функции преобразования). В связи с этим нами выделены основные и обеспечивающий процессы (таблица). Основные технологические процессы изменяют предмет производства (скважину), а промывка скважины обеспечивают их осуществление.

Таблица

Характеристика технологических процессов

Технологический процесс	Функциональное назначение процесса	Результат процесса	Примеры показателей процесса и его результата
1	2	3	4
Основные процессы			
Углубление ствола скважины	Формирование ствола скважины	Ствол скважины	Нагрузка на долото, длина и диаметр ствола скважины
Крепление ствола скважины обсадной колонной	Размещение в стволе скважины обсадной колонны	Обсадная колонна (ОК)	Скорость спуска ОК, длина и диаметр ОК
Тампонирующее заколонное пространство скважины	Создание герметичной оболочки из тампонажного камня за ОК	Оболочка из тампонажного камня за ОК	Скорость тампонажной жидкости в заколонном пространстве, давление опрессовки тампонажного камня за ОК
Заканчивание скважины	Формирование системы «скважина – продуктивный пласт»	Система «скважина – продуктивный пласт»	Механическая скорость бурения при первичном вскрытии пласта, коэффициент гидродинамического совершенства, отношение реальной продуктивности к потенциальной

1	2	3	4
Обеспечивающий процесс			
Промывка скважины	Создание условий для углубления, крепления, тампонирувания и заканчивания скважины	Условия углубления, крепления, тампонирувания и заканчивания скважины	Плотность промывочной жидкости, концентрация коллоидной фазы, производительность буровых насосов

Результативность и эффективность процесса обеспечивается, прежде всего, заданием необходимых для этого требований к выходу предыдущего процесса. Таким образом, наряду с контролем режима осуществления процесса должна осуществляться и оценка его результата. В связи с этим подчеркнем, что следует выделять процесс, как совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата и собственно результат процесса – продукцию. Это необходимо, прежде всего, потому, что для оценки процесса и продукции используются разные показатели. Продукция характеризуется показателями качества, а процесс – результативностью и эффективностью.

Процессы бурения скважины – это, как правило, специальные процессы, то есть такие, подтверждение соответствия результата (продукции) которых затруднено или экономически нецелесообразно. Результативность обычного процесса оценивается соответствием результата заданным требованиям, а специального – соответствием действий, выполненных в рамках процесса, установленной технологии. Поэтому для обычного процесса достаточно регламентировать его выход путем измерения результата, для специального процесса необходимо регламентировать оценку его соответствия проектной технологии. Отсюда следует, что оценивать результативность процесса строительства скважины только по результатам ее квалиметрии неправильно, должны быть валидированы все процессы в БТС, результаты которых не могут быть верифицированы последующим мониторингом или измерениями.

В бурении, в отличие от других видов деятельности, строгое следование проектной документации практически невозможно – управление процессом бурения осуществляется, главным образом, на основе оперативной информации. Поэтому очень многое зависит от лица, принимающего решение, в частности от его профессионального опыта и, даже, интуиции.

Качество скважины, формирующееся на этапе заканчивания [6, 7], целесообразно рассматривать отдельно от других этапов ее создания как на стадии проектирования, так и в системе управления качеством на этапе строительства скважины.

Список литературы

1. Балаба В.И., Дунюшкин И.И., Павленко В.П. Безопасность технологических процессов добычи нефти и газа: Учебное пособие. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 477 с.
2. Балаба В.И. Системно-процессное управление строительством скважин // Наука и техника в газовой промышленности. – 2010. – № 1. – С. 46-57.

3. Балаба В.И. Концепция управления качеством при строительстве скважин // Бурение и нефть. – 2010. – № 4. – С. 58-61.
4. Балаба В.И. Оценка качества скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2006. – № 12. – С. 2-8.
5. Балаба В.И., Зинченко О.Д. Системный и процессный подходы в бурении // Альманах мировой науки. – 2016. – № 3-1 (6). – С. 80-81.
6. Василенко И.Р., Зинченко О.Д., Исаев В.И., Шепель К.Ю. Экспериментальная оценка воздействия кумулятивной перфорации на армированную модель крепи скважины // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2015. – № 2. – С. 48-52.
7. Исаев В.И. Гидродинамика двухфазных смесей в процессах бурения нефтяных и газовых скважин: дис. ... докт. техн. наук. М., 2009. – 331 с.

ОСОБЕННОСТИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Булдаков Н.С.

руководитель проектов, канд. техн. наук,
компания «Ай-Теко», Россия, г. Москва

В статье рассмотрены особенности систем дистанционного мониторинга для определения функционального состояния человека. Приведены варианты структур для разных иерархических уровней, основные подсистемы и решаемые задачи. Описаны возможности системы автоматизированной обработки медицинских изображений.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, структура, функциональное состояние, медицинские изображения.

В общем случае система дистанционного мониторинга (СДМ) состояния исследуемого объекта должна обеспечивать сбор, регистрацию и передачу информации о нем на сервер для дальнейшей обработки (рис. 1).

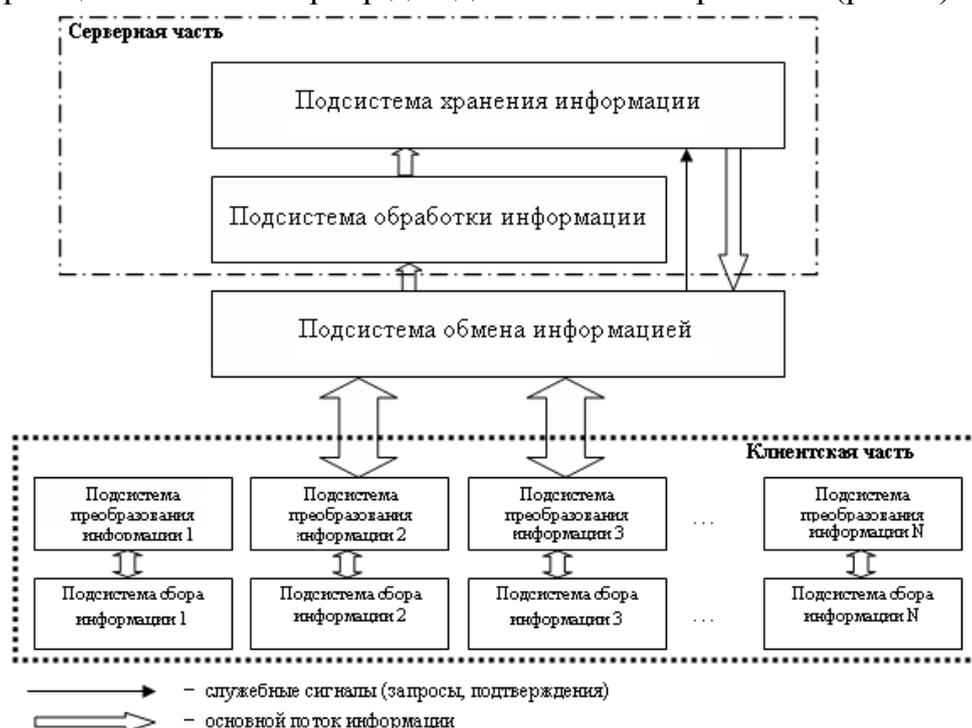


Рис. 1. Общая структура системы мониторинга

Системы дистанционного мониторинга приобретают все большее значение и в медицине [1, 2, 4]. В настоящее время СДМ начинает использоваться для оценки функционального состояния человека с хроническими заболеваниями (диабет, сердечная патология или пожилое население) [5].

Рассматриваемая телемедицинская система имеет блочную структуру и состоит из нескольких подсистем, каждая из которых решает определенный круг задач. К основным относятся следующие подсистемы:

1) сбора и первичной обработки информации – это нижний уровень СДМ, который представляет собой совокупность устройств, регистрирующих информацию и собирающих данные о состоянии человека;

2) преобразования информации, где осуществляется представление предварительно обработанных данных в формате, удобном для передачи, обработки и последующего анализа;

3) обмена информацией, где выполняется передача/прием отформатированных данных на основе глобальной сети (проводной или беспроводной) для дальнейшей их обработки на специализированном оборудовании, анализа собранных данных специалистами и передачи рекомендаций конкретным пользователям системы;

4) обработки данных в виде совокупности программно-аппаратных средств, в том числе искусственного интеллекта, для обработки и анализа принятой информации;

5) хранения информации, где обеспечивается хранение обработанных данных и осуществляется их выборка по запросу систем обработки или обмена.

В каждом конкретном случае структура рассматриваемой системы уточняется (рис. 2 и рис. 3).

База данных включает достаточные для уверенной идентификации человека справочные данные (фамилия, имя, отчество пациента, дата его рождения и т.п.). Они вводятся с рабочего места среднего медицинского персонала (рентген-лаборанта), при регистрации больного. Результаты «чтения» медицинских изображений (учетные данные) «формализуются» прямым выбором и, при необходимости, правки с использованием простейших текстовых редакторов одного из шаблонов. Линейная группа этих шаблонов, которые выбираются для вставки в протокол независимо друг от друга, создается врачом-рентгенологом, эксплуатирующим данный флюорограф. Конечный этап – стандартное объединение растрового медицинского изображения (как рисунка) и текста описания в Word-файл, на основании которых принимается решение о функциональном состоянии человека (диагнозе).

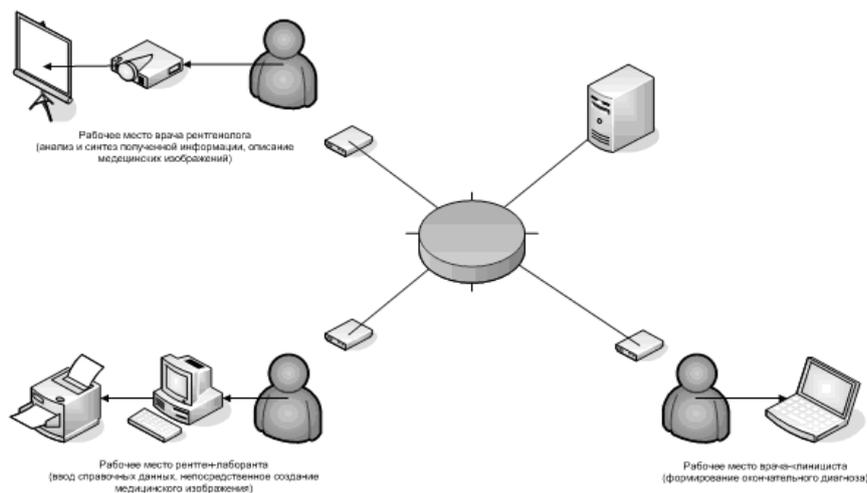


Рис. 2. Схема работы СДМ на уровне локальной сети



Рис. 3. Схема работы СДМ на уровне Интернета

Телемедицинскую систему можно рассматривать в более общем виде, не разделяя клиентскую и серверную части на подсистемы так, как показано на рис. 4.

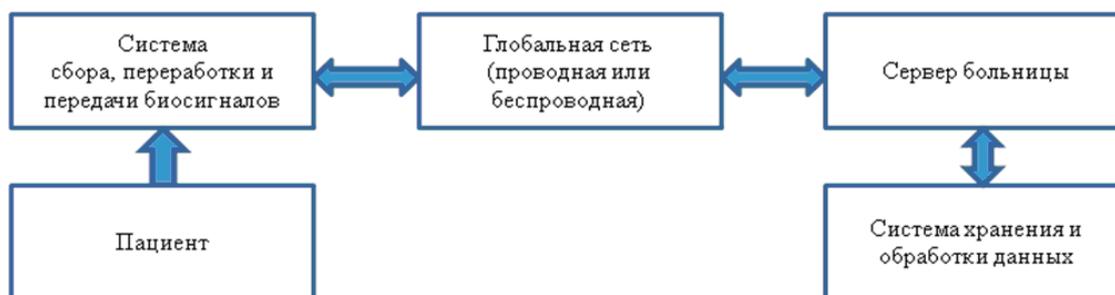


Рис. 4. Обобщенная структура системы мониторинга

Традиционно передача медицинских данных осуществляется с использованием наземных линий связи, таких как телефонная сеть общего пользования (PSTN) и цифровая сеть с интегрированным обслуживанием (ISDN). Большинство телемедицинских приложений ограничены связью между фиксированными точками, в основном – обычными телефонными аппаратами. Развитие мобильных технологий предоставляет возможность оказывать медицинские услуги в любой точке внутри зоны покрытия сотовых сетей, таких как глобальная система мобильной связи (GSM).

Однако, несмотря на большое число инноваций в информационных и телекоммуникационных технологиях, использование разнообразных систем

дистанционного мониторинга и автоматизированной обработки изображений распространено недостаточно. Это связано с тем, что в случае поиска или распознавания скрытых, завуалированных или зарождающихся биоструктур процесс принятия решений усложняется, и для повышения его эффективности требуется использовать всю доступную, в т.ч. априорную, информацию. Подобная информация должна включаться в вектор признаков, используемый для распознавания структурных элементов на снимках.

В работе [2] в качестве дополнительных критериев, повышающих достоверность идентификации скрытых и завуалированных объектов, предложены геометрические признаки (форма и расположение выявляемых элементов) и критерий на основе оценки физической плотности вещества. Применение указанной технологии в системах дистанционного мониторинга состояния человека и автоматизированной обработки медицинских снимков позволит решить следующие задачи:

- формирование изображений, их передача и хранение информации о пациентах вне зависимости от их географического местоположения;
- передача информации в реальном времени с обеспечением необходимого уровня безопасности данных, что особенно важно при передаче персональной информации;
- предварительная обработка изображений и формирование пространства признаков структурных элементов исследуемых объектов;
- анализ снимков: структурирование изображения на основе алгоритмов контрастирования и кластеризация структур по выбранным признакам;
- автоматизированное распознавание структурных элементов и принятие решения об их природе.

Решение этих задач на базе интеллектуальных систем дистанционного мониторинга и автоматизированной обработки снимков позволит повысить эффективность принятия решений по зашумленным изображениям [2, 3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 16-07-00878).

Список литературы

1. Johnson P. and Andrews D.C. Remote continuous physiological monitoring in the home // J. Telmed. Telecare. 1996. Vol. 2, no. 2. Pp. 107–113.
2. Большаков А.А., Булдаков Н.С. Построение систем обработки изображений с использованием технологии виртуализации // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №4 (62). Вып. 4. С. 224 – 228.
3. Большаков А.А., Булдаков Н.С. Синтез интеллектуальных систем дистанционного мониторинга и автоматизированной обработки снимков // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. №1 (64). Вып. 2. С. 128-132.
4. Булдакова Т.И., Суятинов С.И., Кривошеева Д.А. Обеспечение информационной безопасности в телемедицинских системах на основе модельного подхода // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 5(8). С. 21-29.
5. Выявление групп риска у людей с высоким уровнем холестерина: статистический и модельный подходы / Т.И. Булдакова, В.Б. Лифшиц, С.И. Суятинов // Информационные технологии моделирования и управления. 2008. №4 (47). С. 363-368.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА НАКОПИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Васильев Д.А.

доцент кафедры «Системотехника»,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, г. Саратов

Бисеров Д.В.

магистрант кафедры «Системотехника»,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, г. Саратов

Вьюшин Н.Н.

магистрант кафедры «Системотехника»,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, г. Саратов

Михайлов Д.В.

инженер II категории кафедры «Системотехника»,
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, г. Саратов

В статье рассматривается подход к построению аппаратно-программного комплекса контроля и учета накопителей информации на предприятии. Рассматриваются принцип расширения организационно-технической структуры процесса контроля и учета информации, формирования структуры базы данных и ее реализации, построение процедур эффективного кодирования информации и формирования отчетов.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, контроль и учет накопителей информации, системы управления базами данных, арифметическое кодирование информации, программные средства.

На сегодняшний день предприятия являются главным звеном производственного комплекса страны. Одним из немаловажных факторов влияющих на эффективность их функционирования является организация процессов сбора, передачи, обработки и хранения информационных массивов. Для организации этих процессов реализуются различные аппаратно-программные комплексы, ориентированные на автоматизацию этих процессов.

Базируясь в основном на автоматизацию таких процессов как технологические процессы, процессы управления электропотреблением, экологией, организацией процедур метрологического характера, защиты информации и т.д. производители аппаратно-программных комплексов абстрагируются от решения задач по организации процессов автоматизированного контроля и учета передвижения накопителей информации, являющейся немаловажной для ряда предприятий оборонного комплекса.

На рис. 1 представлена действующая организационная модель процесса контроля и учета накопителей информации на типичном оборонном предприятии. В данной модели сотрудник отдела информационных технологий (ОИТ) контролирует весь процесс выдачи и сдачи накопителей. Информация о процессе фиксируется на персональном компьютере посредством электронных таблиц.

В настоящей статье рассматривается процесс расширения организационной модели (рис. 1), предусматривающий введение процедур формирования структуры базы данных (БД) контроля и учета накопителей информации, организации доступа к БД, сканирования индивидуальной информации сотрудника, сжатия информации и формирования отчетов.



Рис. 1. Модель организации процесса контроля и учета накопителей информации

Для эффективного управления данными, организации контроля и учета накопителей информации разработана структура данных, представляющая собой набор взаимосвязанных таблиц с установленными первичными и вторичными ключами связывания [1, 2].

Структурная схема БД контроля и учета накопителей информации на предприятии представлена на рис. 2.

В качестве сущностей базы данных определены: «Подразделения», «Работники», «Выданные накопители», «Допустимое время», «Номер телефона», «Черный список», «Флеш-накопители». Атрибуты сущностей определены в таблицах БД (рис. 2).

Для повышения эффективности управления процессом контроля и учета накопителей информации выполнено расширение организационной структуры процесса (рис. 3). Для этого процесс дополнен БД и системой управления БД (СУБД), сканирующим и печатающим устройствами и процедурой сжатия данных и формирования отчетов.



Рис. 2. Структура базы данных системы контроля и учета накопителей информации

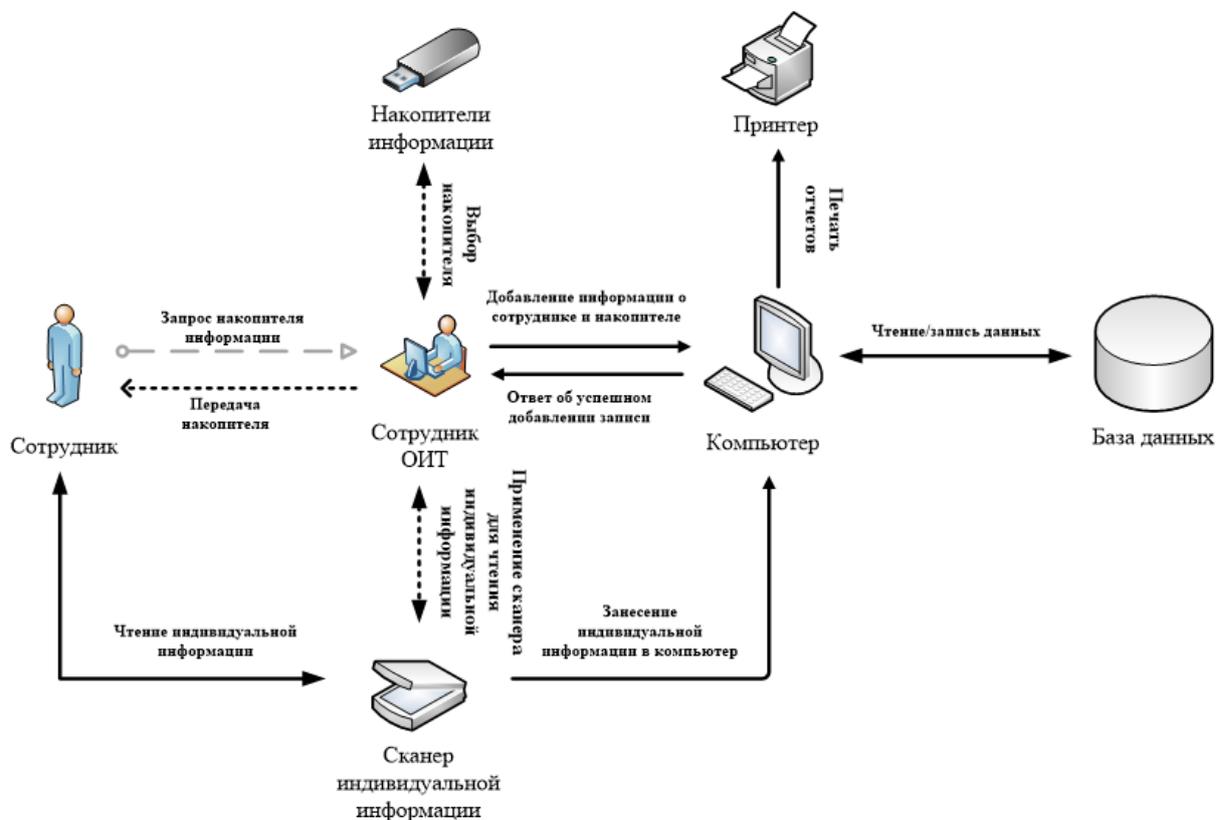


Рис. 3. Расширенная модель процесса контроля и учета накопителей информации

Процесс контроля и учета накопителей информации (рис. 3) начинается с запроса сотрудником предприятия (СПр) накопителя информации у сотрудника ОИТ. Сотрудник ОИТ считывает индивидуальную информацию СПр с помощью сканирующего устройства, информация с которого по средствам эмуляции компьютерной клавиатуры поступает на компьютер сотрудника ОИТ. По средствам языка PL/SQL производится обращение к БД [2] для выбора необходимого СПр и отображения информации о нем. Далее индивидуальный номер сотрудника передается в приложение по контролю и учету накопителей информации и накопитель выдается сотруднику.

Для эффективного использования ресурсов памяти вычислительной системы контроля реализуется алгоритм арифметического сжатия информационных массивов, основная идея которого состоит в кодировании не отдельных символов массива данных, а всей их последовательности одним вещественным числом [3, 4].

Основной принцип кодирования организован таким образом, что каждому символу выделяется интервал в соответствии с частотой встречаемости символа в информационном массиве. При кодировании интервал кодируемого символа, переносится на рабочий отрезок пропорционально установленной величине интервала. Перенос позволяет получить новым рабочим интервалом. Затем переносится интервал следующего символа массива в новый рабочий отрезок. Границы переносимого интервала в рабочем отрезке пересчитываются по формулам

$$\begin{aligned} \text{High} &= \text{Low}_{\text{old}} + (\text{High}_{\text{old}} - \text{Low}_{\text{old}}) * \text{Range}_{\text{High}}(x), \\ \text{Low} &= \text{Low}_{\text{old}} + (\text{High}_{\text{old}} - \text{Low}_{\text{old}}) * \text{Range}_{\text{Low}}(x), \end{aligned}$$

где Low_{old} – нижняя граница рабочего отрезка, High_{old} – верхняя граница рабочего отрезка; $\text{Range}_{\text{High}}$ и $\text{Range}_{\text{Low}}$ – верхняя и нижняя границы интервала символа.

Аналогичным образом производится перенос всех символов информационного массива. После обработки всего массива получается результирующий отрезок, левая граница которого принимается как код всего массива, представляющего собой вещественное число.

Авторами статьи разработан аппаратно-программный комплекс контроля и учета накопителей информации, в процессе разработки которого использовались такие средства как Oracle client и Microsoft VisualStudio (C#).

Основное окно программы контроля и учета накопителей информации представлена на рис. 4.

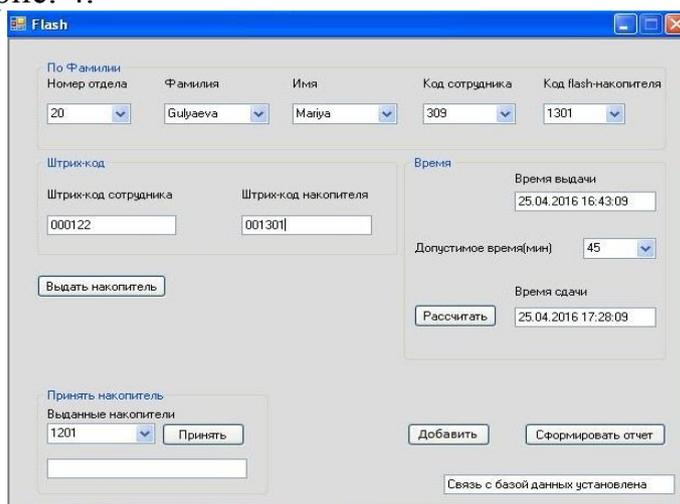


Рис. 4. Главное окно программы

При выборе пункта «Сформировать отчет» открывается новое окно общего отчета по использованию накопителей информации. Здесь оператор может сформировать отчеты по СПр, СПр вовремя не вернувших накопите-

ли, информацию о накопителях, выданных в настоящее время, выполнить процедуру сжатия информации и помещение ее в архив.

Разработка программы автоматизированного контроля и учета накопителей позволяет существенно повысить эффективность работы сотрудника ОИТ, сделать процесс фиксации данных более оперативным и надежным, формировать архивное хранилище данных с реализацией процедур кодирования и автоматического декодирования массивов, формирования отчетов.

Список литературы

1. Пирогов В. Ю. Информационные системы и базы данных : организация и проектирование: учеб.пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2009.528 с.
2. Кириллов В. В., Громов Г.Ю. Введение в реляционные базы данных. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 464 с.
3. Кудряшов Б. Д. Теория информации : учеб.пособие. СПб. [и др.]: Питер, 2009. – 320 с.
4. Хохлов Г. И. Основы теории информации : учеб.пособие. М.: ИЦ "Академия", 2008. 176 с.
5. Подбельский В. В. Язык Си#. Базовый курс: учебное пособие. Финансы и статистика, 2011. 384 с.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ПРИ ОСАДКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОКОВОК

Вяткин А.Г.

доцент кафедры технологий машиностроения, канд. техн. наук,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Россия, г. Калуга

Антонюк Ф.И.

профессор кафедры технологий машиностроения, доктор. техн. наук,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Россия, г. Калуга

Бысов С.А.

доцент кафедры технологий машиностроения, канд. техн. наук,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Россия, г. Калуга

Зенкин Н.В.

доцент кафедры технологий машиностроения, канд. техн. наук,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Россия, г. Калуга

Представлены результаты полного факторного эксперимента в виде уравнения регрессии показывающего эффективность применения смазки. Показано, что наибольший эффект от применения технологической смазки наблюдается при осадке относительно низких поковок (более жестких) с малой степенью деформации.

Ключевые слова: осадка, точность поковок, технологические смазки.

Развитие методов обработки металлов давлением в современном машиностроении позволило выйти за пределы заготовительного производства.

Высокая точность диаметральных размеров позволяет полностью исключить необходимость последующей механической обработки [1]. А то что пластическая деформации в большинстве случаев повышает эксплуатационные характеристики позволяет методами обработки давлением дополнять виды отделочных операций [2-4]. При выполнении операций обработки металлов давлением деформирующий инструмент находится в соприкосновении с обрабатываемым материалом. При этом частицы деформируемого материала скользят по поверхности инструмента, в результате чего возникают силы контактного трения, затрудняющие это скольжение. Как следствие этого явления требуется увеличение деформирующей силы, необходимой для получения поковок заданных размеров, так как любые силы преодолеваются активной нагрузкой.

Для снижения сил контактного трения, а, следовательно, и величины деформирующей силы [5, 6], применяются технологические смазки. Основные виды смазок представлены в работе [7]. Однако на эффективность применения смазки существенное влияние оказывают геометрические параметры поковки [8] и условия их деформирования.

При выполнении операции осадки под геометрическими параметрами поковок понимаются их геометрические размеры (d – диаметр, h – высота), но наибольший интерес представляют их относительные размеры (d/h), так как от этого отношения зависит жесткость поковок при прочих равных условиях [9].

Под условиями деформирования понимается степень деформации исходной заготовки по высоте (ε), которая характеризует жесткость процесса.

Для определения влияния этих факторов на эффективность применения технологической смазки был спланирован и реализован полнофакторный эксперимент ПФЭ 2^2 , в котором исследуемые факторы устанавливались на двух уровнях.

Осаживались стальные поковки (сталь 20), имеющие после осадки следующие размеры – $d=24$ мм, $h=8$ мм и $d=24$ мм, $h=16$ мм, то есть с различной относительной высотой – $d/h = 3,0$ и $d/h = 1,5$ соответственно. Осадка осуществлялась со степенями деформации $\varepsilon=0,36$ и $\varepsilon=0,1$. В качестве технологической смазки применялся животный жир.

Эффективность применения смазки оценивалась в относительном изменении высоты осаживаемых поковок (δh), которое характеризует изменение требуемой силы деформирования.

После статистической обработки результатов была получена математическая модель в виде уравнения регрессии:

$$y(\delta h) = 2,29 - 0,38x_1(\varepsilon) + 2,09x_2(d/h) + 1,05x_1x_2(\varepsilon, d/h).$$

Коэффициенты при соответствующих факторах в этом уравнении свидетельствуют о силе влияния, знак – о характере.

Из анализа полученной модели следует, что наибольшее влияние на эффективность применения смазки оказывает отношение d/h , характеризующее жесткость поковки. С увеличением этого отношения, то есть с увеличением жесткости поковки, эффективность применения смазки возрастает.

Влияние степени деформации значительно меньше по сравнению с влиянием жесткости поковки. При этом влияние степени деформации отрицательное, о чем свидетельствует знак «минус» при коэффициенте этого фактора, то есть с увеличением степени деформации эффективность применения смазки снижается.

Также необходимо отметить влияние рассматриваемых факторов на величину отклика в их взаимосвязи, которое весьма значительно. Соответствующий коэффициент (1,05) показывает, что с увеличением степени деформации влияние жесткости поковки (отношения d/h) на эффективность применения смазки усиливается.

Регрессионный анализ ПФЭ 22 был дополнен дисперсионным анализом. Дисперсионный анализ результатов полнофакторного эксперимента позволил определить вклад каждого фактора в общую дисперсию относительного изменения высоты поковок (δh) в результате применения технологической смазки. Так для отношения d/h этот вклад составляет 77,5%, для ε – 2,5%, а вклад взаимодействия d/h и ε – 19,6%.

Общий вывод, полученный из анализа проведенных исследований, можно сформулировать следующим образом: наибольший эффект от применения технологической смазки наблюдается при осадке относительно низких поковок (более жестких) с малой степенью деформации.

Список литературы

1. Ланской Е.Н., Антонюк Ф.И., Вяткин А.Г. Точность поковок, изготавливаемых холодной объемной штамповкой на кривошипных и гидравлических прессах // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2002. № 1. С. 25.
2. Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Логутенкова Е.В. Краткий обзор отделочных операций, применяемых для повышения эксплуатационных характеристик деталей машин // Научный альманах. 2015. № 10-3 (12). С. 183-186.
3. Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Авраменко М.Ю. Технологические предпосылки повышения эксплуатационных характеристик направляющих элементов // Фундаментальные исследования. 2016. № 8-1. С. 55-58.
4. Логутенкова Е.В., Мусохранов М.В., Калмыков В.В. Технологическое обеспечение качества и энергетического состояния деталей машин // Научный альманах. 2015. № 10-3 (12). С. 163-166.
5. Антонюк Ф.И., Малышев А.Н., Логутенкова Е.В. Деформирующие силы при формообразовании фланцев на стержнях закрытой осадкой с выдавливанием // Заготовительные производства в машиностроении. 2014. № 8. С. 24-30.
6. Антонюк Ф.И., Логутенкова Е.В. Верхняя оценка удельных сил холодной объемной штамповки низких поковок в закрытых штампах // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 163.
7. Зенкин Н.В., Варичкин И.А., Сорокин С.П. Анализ смазочно-охлаждающих жидкостей // Научный альманах. 2016. № 4-3 (18). С. 82-85.
8. Калмыков В.В., Логутенкова Е.В., Мусохранов М.В. Определение параметров шероховатости не стандартизованных в России // Научный альманах. 2015. № 10-3 (12). С. 108-111.
9. Антонюк Ф.И., Калмыков В.В., Мкртчян А.Б. Применение статистических методов анализа к оценке изменения диаметра цилиндра при холодной осадке // Фундаментальные исследования. 2016. № 8-1. С. 9-13.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Голубь Д.И., Лисицкий Л.О., Говоров Н.Ю.
магистранты кафедры «Технология машиностроения»,
Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье клеевые методы фиксации соединяемых деталей рассматриваются как перспектива развития и ориентир с точки зрения достижения наилучшего сочетания затрачиваемых экономических средств для реализации требуемого качества при заданной надёжности выпускаемых изделий.

Ключевые слова: клеевые методы фиксации, экономическая эффективность, перспектива развития, требуемое качество.

В условиях жесткой конкуренции наиболее актуально стоит вопрос спроса на выпускаемую продукцию, который во многом зависит от стоимости и качества выпускаемых изделий. Как правило, в современном мире стоит задача поиска компромисса между ценой-надёжностью-качеством для достижения необходимого спроса.

В производственной сфере для достижения высоких экономических показателей в основном принято проводить постоянное обновление именно оборудования, но не методов изготовления продукции.

Склеивание – один из наиболее перспективных способов получения неразъемных соединений, который имеет ряд преимуществ по сравнению с заклепочными, сварными, резьбовыми и другими типами соединений. Это, в первую очередь, возможность соединять самые разнообразные материалы. В ряде случаев это единственный практически приемлемый метод соединения неметаллических материалов между собой и с металлами. В клеевых соединениях более равномерно распределены напряжения, исключены отверстия под болты и заклепки, ослабляющие скрепляемые элементы.

Клеевые соединения находят все большее применение в связи с созданием высококачественных синтетических клеев. Наиболее широко применяют клеевые соединения внахлестку, работающие на сдвиг. Соединения встык для обеспечения прочности изготавливают по косому срезу или с накладками. При необходимости получить особо прочные соединения, применяют комбинированные соединения: клеевинтовые, клеезаклепочные, клеесварные.

Важным достоинством соединений на основе синтетических клеев является их атмосферостойкость, способность противостоять коррозии и гниению. В ряде случаев клеевые соединения обеспечивают герметичность конструкций.

Основной недостаток большинства клеев заключается в их низкой теплостойкости. Разработан ряд клеев на основе органических, элементарноорганических и неорганических полимеров, которые могут работать при температу-

рах выше 1000°C, но большинство из них не дает достаточно эластичной клеевой пленки, что пока ограничивает возможность их применения.

В машиностроении широко используются клеевые соединения материалов в разнообразных сочетаниях, успешно работающие при нормальных и повышенных температурах; клеи позволяют повысить прочность конструкций, уменьшить массу изделий и т.д.

В машиностроении применяются клеи, которые эксплуатируются в силовых соединениях при температурах до 250-350°C, а некоторые клеевые композиции могут использоваться в конструкциях, кратковременно подвергающихся воздействию температур до 1000°C и выше [1, с. 124].

Склеивание является контролируемым и управляемым процессом соединения. Подготовка поверхностей под склеивание является одной из наиболее ответственных операций технологического процесса склеивания. От этой операции зависит адгезионная прочность клеевых соединений. Целью обработки поверхности перед склеиванием является достижение максимально возможной смачиваемости его выбранным клеем. Тем самым обеспечиваются оптимальные условия для контакта клея с поверхностью детали и создаются предпосылки для возникновения адгезионных связей. Обычно поверхности имеют неровности в пределах 1-10 мкм, то для их сцепления необходимо нанести тонкий слой клея, выравнивающего эти неровности и способствующего соединению поверхностей.

Наиболее ощутимы преимущества клеевых соединений при расчете прочностных и экономических показателей. Так же, объёмы проводимых мероприятий при технологической подготовке производства несоизмеримы относительно сварочных, резьбовых или заклёпочных соединений, но, по причине некоторого недоверия или вязкости производственной среды, лишь малая часть машиностроительных предприятий использует клеевые соединения в чистом виде. В большинстве случаев речь идёт о комбинированных соединениях.

Комбинированные соединения: клеесварные, клеерезьбовые, клееклепаные – значительно улучшают технические характеристики деталей и механизмов, обеспечивают высокую прочность и, в ряде случаев, герметичность конструкций.

Применение клеев в промышленности дает большой экономический эффект и способствует ускорению научно-технического прогресса в стране.

Список литературы

1. Зинина И.Н. Технологическое обеспечение качества адгезионных соединений на основе учета влияния микропрофиля поверхностей деталей: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2003. 220 с.
2. Ковачич Л. Склеивание металлов и пластмасс. М.: Химия. Москва, 1985. 240 с.

РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Голубь Д.И., Лисицкий Л.О., Говоров Н.Ю.
магистранты кафедры «Технология машиностроения»,
Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье рассматриваются основные преимущества и недостатки при применении клеевых соединений и приводятся рекомендации рационального использования данного метода.

Ключевые слова: клеевые методы фиксации, преимущества и недостатки клеевых методов фиксации.

Клеевое соединение – неразъёмное соединение деталей машин, строительных конструкций, изделий лёгкой промышленности и др., осуществляемое с помощью клея. Клеи классифицируются по областям их преимущественного применения: для склеивания металлов друг с другом и с неметаллическими материалами; для склеивания неметаллических материалов; для склеивания резин между собой и приклеивания их к металлу; для склеивания силикатных оптических стекол и органических стекол между собой и приклеивания их к металлам.

Клеевые соединения широко применяются в машиностроении по всему миру, в основном в США и странах западной Европы. Преимущества и недостатки способа склеивания, по сравнению с другими методами образования неразъёмных соединений, следующие:

Таблица

Преимущества и недостатки метода склеивания

Преимущества	Недостатки
1	2
1. Соединение разнородных материалов, отличающихся по физико-механическим свойствам.	1. Необходимость подготовки (очистки) поверхностей перед склеиванием.
2. Возможность склеивания тонкостенных деталей.	2. Длительное время отверждения некоторых клеев приводит к необходимости применения приспособлений для поддержания нагрузки при склеивании.
3. Равномерное распределение напряжений при склеивании. Отсутствие больших остаточных напряжений, как при сварке, и концентраторов напряжений (отверстий под крепежные элементы). Многие клеи обладают эластичностью, что позволяет поглощать и перераспределять внутренние напряжения.	3. Невозможность получения номинальной прочности соединения сразу же после проведения работ, как это происходит при сварке (необходимость высыхания или отверждения клея).
4. Быстрый и экономичный способ сборки.	4. Низкая теплостойкость клеевых соединений.

1	2
5. Широкая номенклатура клеевых материалов позволяет применять их во многих технологических процессах.	5. Низкая стойкость некоторых клеев к ударным нагрузкам.
6. Высокая прочность клеевых соединений относительно конкурирующих методов.	6. Трудность контроля качества неразъемных клеевых соединений.
7. Низкая себестоимость и простота технологии; отсутствие необходимости в использовании дополнительного оборудования.	7. Невозможность демонтажа клеевых соединений.
8. Возможность снижения металлоемкости и массы конструкции за счет применения клея вместо крепежных элементов.	8. Токсичность и пожароопасность большинства клеевых материалов.
9. Возможность соединения материалов, чувствительных к нагреву или разрушающихся при сварке или пайке.	9. Термопластичные клеи имеют склонность к ползучести.
10. Хорошие герметизирующие, звуко-, тепло- и электроизоляционные свойства.	10. Термореактивные клеи имеют низкую прочность на отдир.
11. Стойкость клеев к влаге и химическим реагентам.	11. Невозможно точно определить долговечность клеевого соединения в реальных эксплуатационных условиях.
12. Универсальность многих клеев позволяет использовать ограниченную номенклатуру клеящих материалов в производстве.	12. Прочность клеевых соединений ниже, по сравнению со сварными.
13. Уменьшение электролитической коррозии при склеивании разных металлов.	

Клеевые методы соединения открывают перед производителем уникальные возможности. Резьбовые, сварочные и заклёпочные соединения требуют больших экономических вложений и иногда вообще недоступны по различным причинам. Резьбовые соединения требуют предварительной механической обработки для создания отверстий и резьбы, для этого необходима закупка оборудования, найм персонала, выделение производственных площадей, создание технологических процессов и многие другие дорогостоящие процедуры. Во многом, сварочные и заклёпочные соединения имеют схожие требования. Склеивание выгодно отличается от этих методов. В зависимости от типа соединяемых деталей, склеивание может производиться в процессе основной мелко- и крупноузловой сборки или на отдельных её этапах, зачастую не требующих дополнительных производственных площадей.

Использование метода склеивания как в комбинированном варианте, так и в чистом виде, подразумевает полное соблюдение технологического процесса и режимов склеивания, так как прочность соединения напрямую зависит от таких факторов, как окружающая температура, чистота поверхностного слоя и другие. В случае отклонений от номинальных режимов склеивания, начальная и конечная прочности не будут реализованы в полной мере. При соблюдении технологического процесса и режимов склеивания производитель получает полностью контролируемый и прогнозируемый метод соединения деталей с заданной величиной прочности без изменения структуры или геометрии выпускаемых изделий.

Использование клеевых технологий позволяет решить многие проблемы конкурирующих методов соединения или же заменить их полностью.

Список литературы

1. Зинина И.Н. Технологическое обеспечение качества адгезионных соединений на основе учета влияния микропрофиля поверхностей деталей: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2003. 220 с.
2. Ковачич Л. Склеивание металлов и пластмасс. М.: Химия. Москва, 1985. 240 с.

ОТРЫВ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ОТ ОБТЕКАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И НОВЫЕ ПУТИ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ В ДИФFUЗОРАХ

Зарянкин А.Е.

профессор кафедры паровых и газовых турбин, д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, г. Москва

Рогалев А.Н.

доцент кафедры экономики в энергетике и промышленности, канд. техн. наук, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, г. Москва

Егоров А.А.

магистрант кафедры тепловых электрических станций, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, г. Москва

Худякова В.П.

магистрант кафедры энергетики высокотемпературной технологии, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, г. Москва

Приводится анализ силовых факторов, действующих в пределах пограничного слоя на движущиеся жидкие и газообразные среды, и показано, что главным фактором, определяющим возможность безотрывного движения вдоль обтекаемой поверхности в диффузорных областях, является величина поперечного градиента напряжения трения $\frac{\partial \tau}{\partial y}$ непосредственно на обтекаемой поверхности. Именно эта величина уравнивает действующий на движущейся поток продольный градиент давления $\frac{dp}{dx}$. То есть, для безотрывного движения жидкости или газа вдоль обтекаемой поверхности непосредственно на ней всегда должно выполняться условие: $\frac{dp}{dx} = \frac{\partial \tau}{\partial y} \Big|_{y=0}$. Физический смысл приведенного равенства состоит в том, что его правая часть определяет степень внешнего воздействия на движущийся поток, определяемого формой рассматриваемого канала или формой обтекаемого тела, а левая часть – это ответная реакция потока на указанное внешнее воздействие.

На основе проведенного анализа всех силовых факторов и характера их изменения в области диффузорного течения разработан эффективный способ предотвращения отрыва потока от обтекаемых поверхностей конических, кольцевых и осерадиальных диффузо-

ров, обеспечивающий стабилизацию течения и многократное снижение уровня динамических нагрузок, действующих на стенки указанных устройств.

В основе разработанного метода предотвращения отрыва потока лежит идея перехода от гладких обтекаемых поверхностей к продольно ребренным поверхностям, что позволяет принципиальным образом изменить характер течения в пристеночной области.

Ключевые слова: диффузор, продольный градиент давления, напряжение трения, скорость, ребренная поверхность, пограничный слой, инерционные силы, отрыв потока.

Введение

Среди вопросов современной теоретической и практической гидрогазодинамики проблема отрыва потока от плавных обтекаемых поверхностей относится к числу центральных, так как при возникновении отрыва кризисным образом меняется вся картина течения, что ведет к резкому ухудшению показателей работы агрегатов и устройств.

Неизбежным следствием возникновения отрыва потока является переход от стационарного течения к нестационарному. В случае, если движение рабочих сред происходит внутри каналов, при отрыве потока от их стенок резко увеличивается гидравлическое сопротивление, растут безвозвратные потери энергии, увеличивается акустическое воздействие и резко возрастают динамические нагрузки на все поверхности, находящиеся в области движущихся сред.

Таким образом, проблема сохранения безотрывного характера течения в каналах различной формы приобретает исключительно важное прикладное значение.

Исследованию течения потока в диффузорах с различными геометрическими характеристиками, а также возникновению явления отрыва потока посвящен достаточно широкий ряд научных работ. Среди них можно выделить статью Tönnblom O. (2003) [9], в которой приводятся обширные данные численного и экспериментального исследований течения потока в плоских диффузорных каналах. Некоторые характеристики работы диффузоров с различными углами раскрытия также представлены в работах Chandavari V., Palekar M.S. (2014) [6].

Конические диффузоры были рассмотрены Lenarcic M. et al. (2013) [7], авторы не только приводят результаты расчетов различных вариантов течения сред, но и предлагают методы оптимизации диффузора и выходной камеры. Варианты возможной модернизации диффузоров также исследованы Singh S.N. et al. (2008) [8].

Основываясь на теоретических гипотезах и предположениях, был разработан и экспериментально исследован способ борьбы с возникновением отрыва потока в целом, либо с некоторыми частными последствиями данного явления путем установки ребер различной конфигурации. Результаты исследований симметричного плоского диффузора с продольными трапециевидными ребрами приведены в статье Зарянкина А.Е. и др. (2012) [1] и в [2]. Данные по кольцевым ребренным диффузорам для предварительно закру-

ченного входного потока опубликованы в работе Зарянкина А.Е. и др. (2012) [3].

В данной статье также представлены результаты численного исследования оребрения в плоских несимметричных диффузорах и широкоугольных конических диффузорах (при отсутствии крутки потока на входе в диффузор).

Теоретическое описание явления отрыва потока

В большинстве научных трудов явление отрыва потока от обтекаемой поверхности рассматривается на качественном уровне с привлечением простейших механических аналогий. Так, Лойцянский Л.Г. в [4] связывает его возникновение только с запасом кинетической энергии в пристеночной области, которая должна обеспечивать движение жидкости против нарастающего в направлении ее движения давления. Практически такое же объяснение причины отрыва потока от стенки содержится и в книге Шлихтинга Г. [5].

Классическая интерпретация механизма отрыва пограничного слоя от обтекаемых поверхностей в диффузорной области течения базируется, по существу, на аналогии инерционного движения твердых тел в гору. В этом случае на движущееся тело действуют инерционные силы, силы трения и сила тяжести, направленная в сторону, противоположную направлению движения; в любом фиксированном положении скорость всех точек тела остается постоянной, а силы трения действуют только по плоскости соприкосновения поверхности тела с контактирующей поверхностью.

В движущихся жидкостях и газах ситуация же принципиально другая. В поперечном сечении пограничного слоя при удалении от обтекаемой поверхности меняются и скорости, и напряжения трения, причем характер этих изменений определяется знаком действующего продольного градиента давления.

Таким образом, существующее представление о причинах отрыва пограничного слоя не учитывает изменение всех действующих силовых факторов и не объясняет, как предотвратить отрыв потока вблизи стенки диффузора, где всегда действующий против течения перепад давления больше кинетической энергии, движущейся в пристеночной области жидкости.

Проведем анализ силовых факторов, определяющих течение рабочих сред в пределах пограничного слоя, на основе осредненных уравнений Прандтля, записанных для плоского течения [2]:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{dp}{dx} + \frac{\partial \tau}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

где u и v – проекции вектора скорости \vec{c} на координатные оси;

$\tau = \tau_L + \tau_T$ – суммарное напряжение трения в пределах пограничного слоя;

$\tau_{\text{л}} = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$ – молекулярное напряжение трения;

μ – коэффициент вязкости;

$\tau_{\text{т}}$ – турбулентное касательное напряжение.

На внешней границе пограничного слоя согласно определению $\frac{\partial \tau}{\partial y} = 0$.

Таким образом, (1) переходит в уравнение Эйлера для плоского течения идеальной жидкости. Далее из (1) следует, что на обтекаемой поверхности:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\partial \tau}{\partial y} \Big|_{y=0}. \quad (3)$$

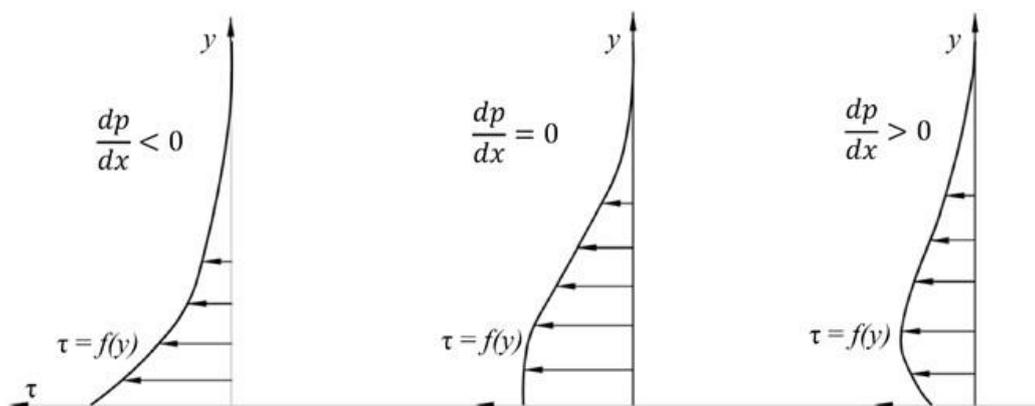
При умножении (1) на элементарный объем жидкости $dV = dx dy dz$ получим балансовое уравнение всех сил, действующих на элементарные частицы жидкости, движущиеся в пределах пограничного слоя:

$$dF_p = dF_{\tau} - dF_u. \quad (4)$$

Здесь внешнее силовое воздействие, обусловленное продольным градиентом давления, уравнивается силами трения и инерционными силами.

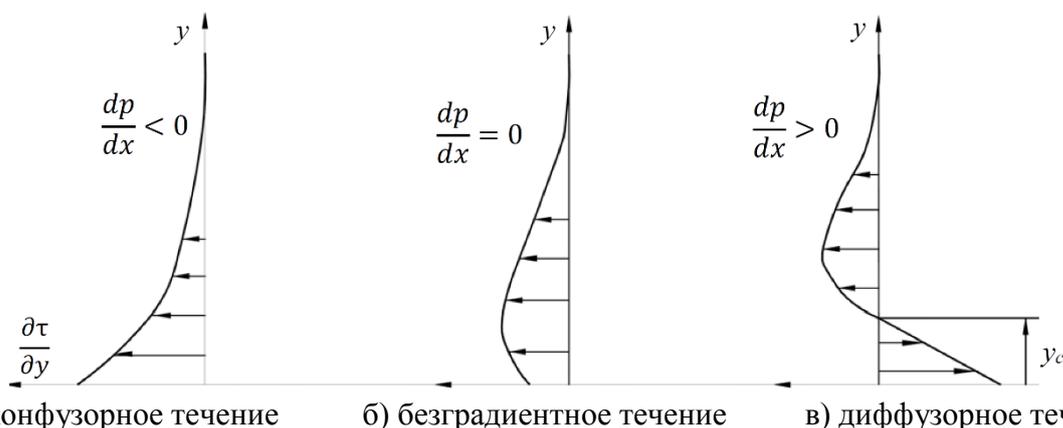
Если сила dF_p согласно второму уравнению Прандтля не меняется в поперечном сечении пограничного слоя, то величины dF_{τ} и dF_u всегда меняются таким образом, чтобы их алгебраическая сумма оставалась неизменной в любом поперечном сечении пограничного слоя и равнялась силе внешнего воздействия dF_p . Соответственно, движение жидкости вдоль обтекаемой поверхности остается безотрывным, пока выполняется указанное условие, т.е. пока деформация эпюр распределения сил dF_{τ} и dF_u под действием внешних (в данном случае геометрических) воздействий обеспечивает компенсацию силы dF_p .

Качественно характер изменения эпюры распределения напряжения трения и его поперечного градиента для конфузорного, безградиентного и диффузорного течений приведены на рисунке 1 и рисунке 2.



а) конфузорное течение б) безградиентное течение в) диффузорное течение

Рис. 1. Эпюры распределения напряжения трения в пределах пограничного слоя при различных видах течения среды



а) конфузорное течение б) безградиентное течение в) диффузорное течение
 Рис. 2. Эпюры распределения поперечных градиентов напряжений трения в пограничном слое при различных видах течения среды

Таким же образом в поперечном сечении пограничного слоя меняются и силы трения dF_τ .

Анализ приведенных эпюр позволяет сделать вывод о том, что в диффузорной области течения на расстоянии $y < y_c$ силы трения направлены в сторону движения жидкости. То есть, на этом расстоянии вышележащие слои увлекают за собой нижележащие (заторможенные) слои жидкости, обеспечивая тем самым принципиальную возможность безотрывного течения при положительном значении продольного градиента давления.

Если теперь сложить распределение всех сил, действующих в пределах диффузорного пограничного слоя, то при безотрывном течении всегда должен реализоваться тот баланс силовых факторов, определяемый уравнением (4).

Расстояние от стенки y_c , на котором сохраняется положительное значение поперечного градиента напряжения трения (сила трения dF_τ), обеспечивающее возможность жидкости в пристеночной области двигаться против действующей в противоположном направлении силы dF_P , прямо зависит от величины положительного градиента давления $\frac{dp}{dx}$. Чем больше продольный

градиент давления $\frac{dp}{dx}$, тем больше значение имеет координата y_c . Другими словами, величина y_c определяет степень ответной реакции движущейся жидкой среды на внешнее (в данном случае геометрическое) воздействие, определяемое градиентом давления $\frac{dp}{dx}$.

Однако возможность ответной реакции потока на внешнее воздействие имеет определенные пределы, превышение которых и ведет к его отрыву.

На обтекаемой поверхности, где скорости в силу гипотезы «прилипания» всегда равна нулю (то есть инерционные силы отсутствуют), величина $\left. \frac{\partial \tau}{\partial y} \right|_{y=0}$ является единственным видом ответной реакции потока на внешнее геометрическое воздействие.

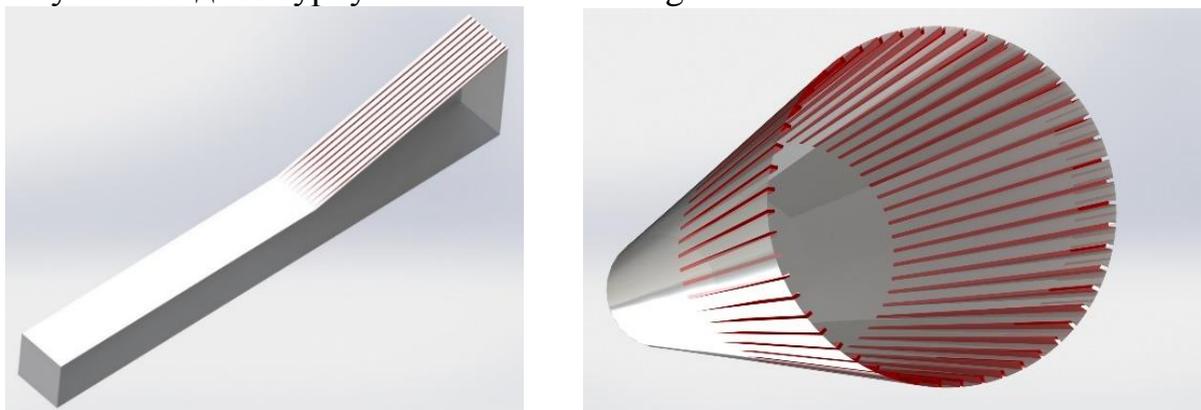
Соответственно, чем шире диапазон возможных изменений поперечного градиента напряжения трения, тем больше предельно допустимая величина продольно положительного градиента давления $\frac{dp}{dx}$, при котором еще может быть реализовано безотрывное течение в диффузорном канале.

В частности, поперечный градиент напряжения трения можно существенно увеличить за счет продольного оребрения обтекаемых поверхностей диффузорных каналов.

Численное исследование применения оребрения в диффузорах

Исследование эффективности продольного оребрения для улучшения характеристик течения потока в диффузорных каналах производилось для плоских и широкоугольных конических диффузоров методом математического моделирования. Пример расчетных геометрий представлен на рисунке 3.

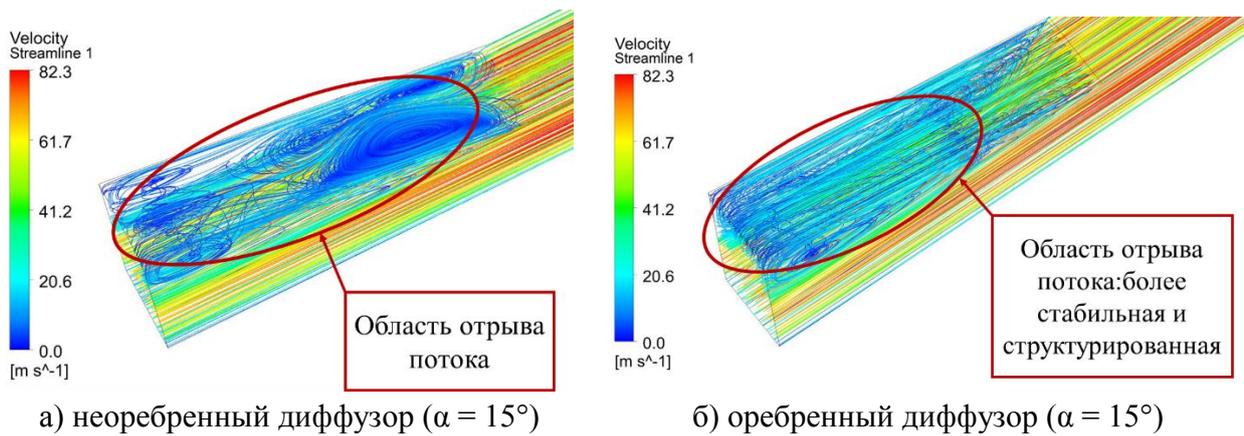
Моделирование течения в диффузорах осуществлялось с помощью программного пакета ANSYS CFX. В качестве граничного условия на вход диффузора накладывался развитый профиль скорости (полученный путем решения задачи течения жидкости в длинном канале прямоугольного сечения с отношением $L / d > 50$); на выходе задавалось статическое давление. Используемая модель турбулентности – k-omega.



а) плоский оребренный диффузор ($\alpha=15^\circ$) б) конический оребренный диффузор($\alpha=15^\circ$)

Рис. 3. Расчетные модели оребренных диффузоров

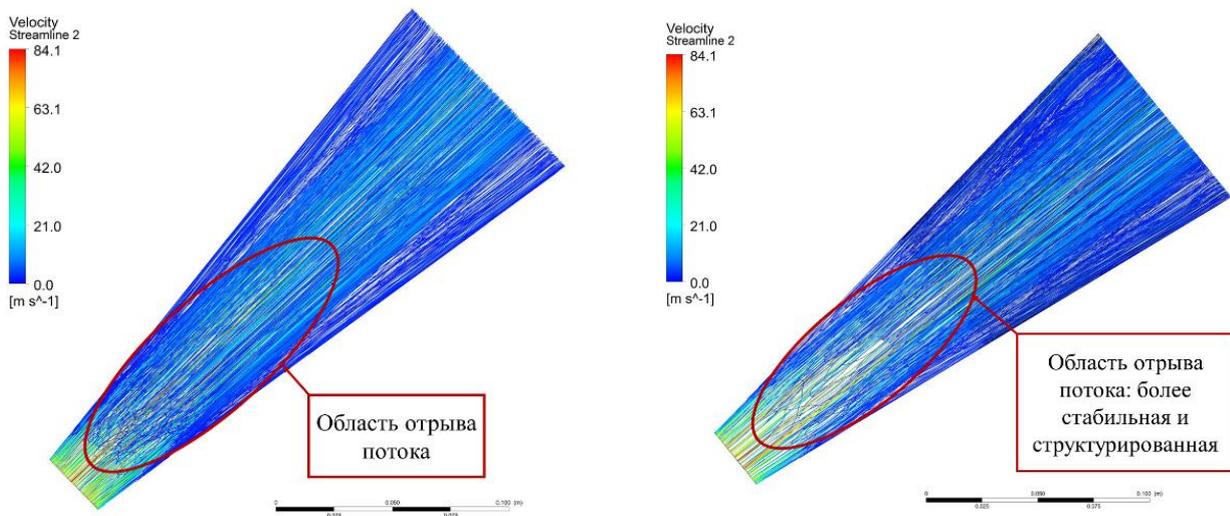
Как показали результаты численного эксперимента, продольное оребрение действительно способствует стабилизации потока и структурирует течение в исследуемых каналах (рисунок 4 и рисунок 5). Для диффузоров с небольшими углами раскрытия ($\alpha < 15^\circ$) установка ребер не способствует снижению потерь энергии потока; для широкоугольных диффузоров наблюдалось незначительное повышение коэффициента восстановления давления по длине диффузора.



а) неоробренный диффузор ($\alpha = 15^\circ$)

б) оробренный диффузор ($\alpha = 15^\circ$)

Рис. 4. Линии тока в диффузоре, окрашенные по скорости



а) неоробренный диффузор ($\alpha = 15^\circ$)

б) оробренный диффузор ($\alpha = 15^\circ$)

Рис. 5. Линии тока в диффузоре, окрашенные по скорости

Заключение

Отрыв потока от плавных обтекаемых поверхностей – это его кризисное состояние, при котором полностью исчерпаны возможности движущейся среды к деформации эпюр распределения инерционных сил и сил трения, обеспечивающих ответную реакцию потока на внешнее геометрическое воздействие, определяемое продольным положительным градиентом давления. Поэтому для организации безотрывного течения необходимо воздействовать на поток и геометрические параметры канала таким образом, чтобы обеспечить как можно большую возможную глубину ответной реакции потока на внешние воздействия.

Для диффузорных каналов граница отрыва потока будет определяться значением поперечного градиента напряжения трения. Для организации безотрывного течения необходимо увеличивать поперечный градиент напряжения трения. Это предлагается осуществить за счет специального продольного оробрения обтекаемых поверхностей диффузорных каналов.

Проведенное численное исследование течения в диффузорных каналах с установленными продольными ребрами показало эффективность применения оробрения для улучшения характеристик работы диффузоров.

Благодарность. Исследование выполнено в Национальном исследовательском университете «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00944 от 16 июля 2014 г.).

Список литературы

1. Зарянкин А.Е., Грибин В.Г., Парамонов А.Н., Носков В.В., Митрохова О.М. Влияние угла раскрытия плоских диффузоров на их вибрационное состояние и пути снижения этих вибраций // Теплоэнергетика. 2012. № 9. С.22-27.
2. Зарянкин А.Е. Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
3. Зарянкин А.Е., Григорьев Е.Ю., Носков В.В. Новые методы стабилизации течения в плоских, конических и кольцевых диффузорных каналах турбомашин // Вестник ИГЭУ. 2012. № 5. С. 5-10.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука. 1969.
6. Chandavari V., Palekar M. S. Diffuser angle control to avoid flow separation // International Journal of Technical Research and Application. 2014. Vol. 2(5). pp. 16-21.
7. Lenarcic M., Erne S. and Bauer C. Improvement in performance parameters by shape optimization of a conical flow around diffuser // Proceedings of the VI International Conference on Adaptive Modeling and Simulation, 2013.
8. Singh S.N., Seshadri V., Chandel S., Gailwad M. Analysis of the improvement in performance characteristics of S-shaped rectangular diffuser by momentum injection using computational fluid dynamics // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. 2009. Vol. 3(1). pp. 109-122.
9. Törnblom O. Experimental study of the turbulent flow in a plane asymmetric diffuser // Licentiate thesis, Dept. Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2003.

МОНТАЖ КРИСТАЛЛОВ НИТРИДА ГАЛЛИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СВЧ ПРИБОРОВ

Землянский А.И.

аспирант кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники,
Воронежский государственный технический университет,
Россия, г. Воронеж

Марченко О.В.

начальник лаборатории, АО «Научно-исследовательский институт
электронной техники», Россия, г. Воронеж

Цоцорин А.Н.

начальник лаборатории, канд. физ.-мат. наук,
АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»,
Россия, г. Воронеж

Зенин В.В.

ведущий научный сотрудник, д-р техн. наук, профессор,
АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»,
Россия, г. Воронеж

Проанализированы свойства материалов подложек для выращивания гетероструктуры на основе GaN. Проведен анализ выбора эффективного материала подложек. Рассмотрены способы пайки кристаллов с использованием гетероструктуры на основе GaN.

Ключевые слова: материалы подложек, обоснование выбора материалов, схемы пайки кристаллов.

Монтаж кристаллов при сборке мощных, а также СВЧ полупроводниковых изделий (ППИ) является одной из наиболее критичных операций. Для монтажа кристалла может использоваться как пайка, так и приклеивание эпоксидными клеями с высокой теплопроводностью и температурной стойкостью.

GaN выращивают на подложке методом молекулярно-лучевой эпитаксии, либо осаждением металлоорганических соединений из газообразной фазы. При выборе подложки для выращивания пленки GaN необходимо учитывать следующие ее параметры: теплопроводность и коэффициент термического расширения; изоляционные свойства; стоимость; доступность; готовность поверхности к выращиванию эпитаксиальных слоев и плотность остаточных дефектов; склонность к короблению и изгибу в процессе прохождения технологических операций; механические и химические свойства.

В качестве материалов подложек для выращивания гетероструктуры на основе GaN используют Si, SiC и сапфир (таблица).

Таблица

Параметры подложек для GaN [1]

Материал	Постоян. решетки a (Å)	Несоотв. отн. GaN (%)	Теплопроводность K_L (Вт/м·К)	КТР ($10^{-6}/K$)	Удельное сопротивление (Ом·см)
GaN	3,189	0	130	5,59	$\geq 10^9$
6H SiC	3,08	3,4	490	4,2	$\geq 10^{11}$
6H _{п/и} SiC	3,08	3,4	370	4,2	$\geq 10^{11}$
Сапфир	4,758	13	50	7,5	-
Кремний	5,4301	17	150	3,59	0,001 – 150
AlN	3,112	1	200	4,2	$\geq 10^{12}$

Подложки из сапфира обладают самой низкой ценой, но и самой низкой теплопроводностью. Отличия в кристаллической структуре сапфира и GaN приводят к возникновению напряжений на границе GaN/сапфир, что вызывает коробление пластины. Si подложки доступны, но не обладают хорошей теплопроводностью. SiC обладает высокой теплопроводностью, кристаллическая решетка этого материала схожа с кристаллической решеткой GaN, но его высокая стоимость приводит к удорожанию ППИ.

В производстве СВЧ изделий микроэлектроники широко используется Au в качестве покрытия корпуса. Монтаж кристаллов в корпус осуществляется с образованием эвтектики Si-Au, либо с применением эвтектического сплава 80Au20Sn.

При корпусировании GaN-устройств, в которых используется Si-подложка, целесообразно использовать стандартную технологию монтажа Si кристаллов в производстве СВЧ транзисторов: пайка с образованием эвтектики Si-Au. В этой технологии на никелированный корпус (толщина Ni 2-3 мкм) наносится Au (3-5 мкм), а на паяемую сторону кристалла может быть нанесен аморфный Si, который служит «затравкой» для образования эвтекти-

ческого сплава [2], либо тонкий слой Au (около 1 мкм). При использовании Au на паяемой стороне кристалла толщина Au на корпусе может быть снижена на 1 – 1,5 мкм. Пайка с образованием эвтектического сплава Si-Au проводится при температуре 420-440°C с приложением к кристаллу низкочастотных колебаний.

При применении SiC в качестве подложки для GaN на SiC наносят слои Ti/Ti-W и слой Au толщиной 1 мкм (рис. 1).

В качестве основания для монтажа кристалла может использоваться DBC (Direct Bond Copper) керамика, на паяемую поверхность которой наносится Au с подслоем Ni (рис. 1). Технология DBC – технология с применением толстой медной фольги, которая плакируется на Al₂O₃ или AlN. В качестве припоя используется фольга 80Au20Sn, температура пайки составляет 300 °С.

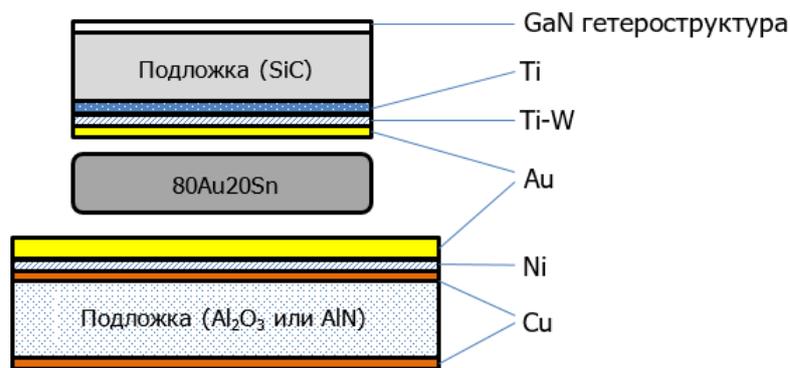


Рис. 1. Схема пайки кристаллов на эвтектический сплав 80Au20Sn [3]

Для другого варианта монтажа кристаллов с гетероструктурой GaN на SiC подложке на SiC наносят адгезионный слой Ni, а на него аморфный Si (рис. 2). На паяемую поверхность корпуса наносят слой Au.

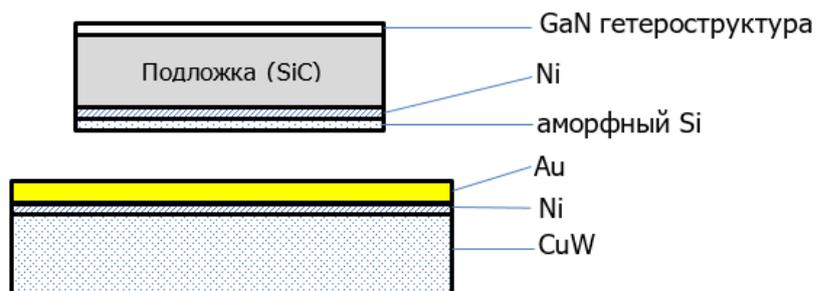


Рис. 2. Схема пайки кристаллов на эвтектический сплав Si-Au [4]

В процессе монтажа корпус нагревается до температуры 420-440°C, а кристалл подвергается воздействию низкочастотных колебаний. В результате между кристаллом и корпусом образуется эвтектический слой Si-Au.

Таким образом, при сборке СВЧ приборов на основе GaN гетероструктур необходимо обеспечить хороший теплоотвод от кристалла к корпусу. Это достигается выбором подложек с высокой теплопроводностью и оптимальным способом монтажа.

Список литературы

1. Куэй Р. Электроника на основе нитрида галлия: Перевод с англ. М: Техносфера, 2011. – 592 с., ISBN 978-5-94836-296-0.

2. Патент RU 2347297 H01L 21/52. Способ монтажа кремниевых кристаллов на покрытую золотом поверхность // Асессоров В. В., Бражникова Т. И., Велигура Г. А., Кожевников В. А. Заявл. 28.05.2007, Опубл. 20.02.2009.

3. Yi Liu. Packaging of silicon carbide high temperature, high power devices – processes and materials / Dissertation, Auburn, Alabama, 11.05.2006.

4. Патент US 5851852 H01L 21/58. Die attach process for SiC / Ostop, John A., Chen, Li-shu. Заявл. 13.02.1996, Опубл. 22.12.1998.

НИТРИД ГАЛЛИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Землянский А.И.

аспирант кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники,
Воронежский государственный технический университет,
Россия, г. Воронеж

Марченко О.В.

начальник лаборатории, АО «Научно-исследовательский институт
электронной техники», Россия, г. Воронеж

Цоцорин А.Н.

начальник лаборатории, канд. физ.-мат. наук,
АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»,
Россия, г. Воронеж

Зенин В.В.

ведущий научный сотрудник, д-р техн. наук, профессор,
АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»,
Россия, г. Воронеж

Проанализированы возможности применения нитрида галлия (GaN) в производстве полупроводниковых приборов. Рассмотрены свойства GaN в сравнении с другими полупроводниковыми материалами. Приведены сведения о системах металлизации к n-области GaN.

Ключевые слова: нитрид галлия, свойства, системы металлизации.

В настоящее время потенциальные возможности кремниевой технологии при производстве силовых и мощных СВЧ полупроводниковых изделий (ППИ) полностью реализованы, поэтому у разработчиков возрастает интерес к новым полупроводниковым материалам, характеризующимися большой шириной запрещенной зоны и высокой подвижностью зарядов. Такими свойствами обладают SiC и GaN. Полевые транзисторы на гетероструктурах Al-GaN/GaN по совокупности параметров превосходят Si и частично GaAs-транзисторы. СВЧ усилители, разработанные с использованием GaN-транзисторов, обладают большей мощностью при меньших геометрических

размерах. Такие СВЧ усилители проще, так как в них суммируется мощность меньшего количества каскадов [1].

Основными преимуществами GaN-транзисторов являются высокие значения следующих параметров: рабочее напряжение, максимальная рабочая температура, удельная выходная мощность, коэффициент полезного действия, а также возможность работы в относительно широкой полосе частот.

В таблице приведены некоторые свойства GaN в сравнении с другими полупроводниковыми материалами.

Таблица

Свойства полупроводниковых материалов [1]

Свойство	Si	GaAs	6H-SiC	4H-SiC	GaN	Алмаз
Ширина запрещенной зоны, эВ	1,12	1,43	3,03	3,26	3,45	545
Диэлектрическая проницаемость	11,9	13,1	9,66	10,1	9	5,5
Напряженность электрического поля пробоя, кВ/см	300	455	2500	2200	2000	10000
Подвижность электронов, см ² /В·с	1500	85	400	500	1000	1000-2000
Подвижность дырок, см ² /В·с	600	400	101	115	850	850
Теплопроводность, Вт/см·К	1,5	0,46	4,9	4,9	1,3	22
Скорость дрейфа электронов в режиме насыщения, 10 ⁷ см/с	1	1	2	2	2,2	2,7

ППИ на основе GaN создаются на гетероструктурах AlGaIn/GaN. В такой гетероструктуре образуется двумерный электронный газ с большим током насыщения, а благодаря большой ширине запрещенной зоны возможно создание мощных приборов с высоким рабочим напряжением. Следует отметить, что такие приборы являются «нормально включенными», и для управления ими требуется специализированная схема [2].

Приборы на основе GaN способны работать при более высоких температурах, чем на основе Si, так как у него концентрация собственных носителей меньше. Продемонстрирована работа полевого GaN транзистора при 300 °С [3], в то время как рабочая температура Si транзисторов ограничена 150-160°С. По мере развития технологии производства GaN транзисторов их рабочая температура может быть повышена до 350-400 °С.

В производстве ППИ на основе GaN важное значение имеют омические контакты. Низкое переходное сопротивление омического контакта необходимо для достижения высоких мощностных характеристик ППИ. ППИ на основе GaN способны работать при большей удельной мощности, чем приборы на основе Si, поэтому разработке технологии создания омических контактов следует уделить особое внимание.

Основой для систем металлизации к n-области GaN выступает система Ti/Al. При использовании этой системы металлизации требуется ее отжиг при температуре 800-900 °С, в результате чего образуется омический контакт. Популярна система металлизации Ti/Al/Ni/Au с низким переходным сопротивлением. Данная система имеет существенный недостаток – грубая шероховатая поверхность в виде куполообразных выступов. Показано, что большую роль в их образовании играют слои Ni и Au [4].

Исключить высокотемпературное воздействие, негативно сказывающееся на параметрах получаемого прибора, позволяет технология, заключающаяся в предварительной обработке поверхности GaN в индуктивно-связанной плазме (inductively coupled plasma – ICP). Это позволяет создать омический контакт Ti/Al к GaN с низким переходным сопротивлением.

Таким образом, GaN является перспективным материалом для производства СВЧ приборов. Приборы на его основе помогут упростить схемотехнику модулей усилителей мощности, повысить КПД, снизить энергопотребление и упростить системы охлаждения.

Список литературы

1. Гольцова М. Мощные GaN-транзисторы истинно революционная технология // Электроника: наука, технология, бизнес. 2012. № 8 (00118). С. 86-100.
2. Никитин Д. Обзор GaN-транзисторов компании United Monolithic Semiconductors // Компоненты и технологии. 2013. №2. С. 132-133.
3. Данилин В. Транзистор на GaN пока самый «крепкий орешек» // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2005. № 4. С. 20-29.
4. Ванюхин К.Д., Захарченко Р.В., Пашков М.В., Сейдман Л.А. Исследование структуры и морфологии поверхности двухслойной контактной металлизации Ti/Al // Известия вузов. Материалы электронной техники. 2013. №3. С. 60-65.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Калинина Е.С.

профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, канд. пед. наук, доцент,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Россия, г. Санкт-Петербург

В статье рассмотрена математическая модель процесса функционирования пожарно-спасательных подразделений по обслуживанию поступающих вызовов. В качестве примера проведен анализ оперативной деятельности пожарной охраны города Кингисепп Ленинградской области.

Ключевые слова: математическое моделирование, пожарно-спасательные подразделения, сложное распределение Пуассона.

На сегодняшний день проблема научного обоснования необходимого количества оперативных подразделений пожарно-спасательных служб для обеспечения надежной защиты населенных пунктов от пожаров и чрезвычайных ситуаций, остается одной из самых актуальных задач деятельности МЧС России.

Рассмотрим построение наиболее важной для обоснования числа пожарно-спасательных подразделений математической модели одновременной занятости этих подразделений обслуживанием поступивших вызовов. Учи-

тывая, что оперативная деятельность пожарной охраны зависит от многих случайных факторов, будем использовать методы теории случайных процессов и теории массового обслуживания.

Обозначим ситуацию $\{k\}$: в любой момент времени в городе может обслуживаться случайное число M вызовов пожарно-спасательных подразделений (ПСП), на каждом из которых одновременно может быть задействовано случайное число k оперативных отделений пожарной охраны (k основных пожарных автомобилей).

Число ПСП, выезжающих по вызову, есть целочисленная случайная величина X , которая может принимать значения 1, 2, 3, ... Функция распределения этой случайной величины имеет вид:

$$P\{X = k\} = \omega_k,$$

где $k=1, 2, 3, \dots$ [1, с. 157].

Число ПСП, занятых обслуживанием вызовов в любой момент времени, тоже представляет собой целочисленную случайную величину $S(M)$, которую можно рассматривать как сумму случайного числа M взаимно независимых случайных величин с одинаковыми распределениями:

$$S(M) = X_1 + X_2 + \dots + X_M,$$

где M – число вызовов, одновременно обслуживаемых в любой момент времени [1, с. 157].

Таким образом, случайная величина $S(M)$ представляет собой сложное, или обобщенное, распределение.

В работах [1; 2] показано, что в предположении, что поток вызовов подчиняется закону Пуассона, а продолжительность обслуживания одного вызова удовлетворительно описывается показательным законом распределения, целочисленная случайная величина M подчиняется закону Пуассона с параметром $\alpha = \lambda \cdot \bar{\tau}_{обс}$, где $\lambda > 0$ – плотность требований или интенсивность потока, то есть среднее число вызовов в единицу времени; $\bar{\tau}_{обс}$ – средняя продолжительность обслуживания одного вызова, т.е.

$$P\{M = m\} = \frac{\alpha^m}{m!} e^{-\alpha}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots).$$

Отсюда следует, что искомое распределение вероятностей целочисленной дискретной случайной величины $S(M)$ является сложным распределением Пуассона.

Используя аппарат производящих функций, легко получить следующие рекуррентные формулы для определения искомого распределения вероятностей случайной величины $S(M)$ [2, с. 40]:

$$P\{0\} = e^{-\alpha}, \quad (1)$$

$$P\{k\} = \frac{\alpha}{k} \sum_{l=1}^k l \cdot \omega_l \cdot P\{k-l\} \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (2)$$

при этом:

$$\sum_{k=0}^{\infty} P\{k\} = 1.$$

Полученные формулы (1)-(2) являются искомой математической моделью процесса функционирования пожарно-спасательных подразделений по обслуживанию вызовов в городе.

По формуле (1) определяется вероятность того, что все ПСП свободны от боевой работы и находятся в режиме дежурства; рекуррентная формула (2) позволяет найти вероятность того, что одновременно боевой работой заняты 1, 2, 3 или любое другое число ПСП.

В качестве примера рассмотрим применение модели (1)-(2) для анализа оперативно-служебной деятельности пожарно-спасательной части (ПСЧ) № 124 города Кингисепп Ленинградской области.

В ходе проведенного статистического анализа оперативно-служебной деятельности ПСЧ №124 за 2014 год установлено, что поток вызовов ПСП в городе Кингисепп подчиняются закону Пуассона, а продолжительность обслуживания одного вызова удовлетворительно описывается показательным законом распределения. Тем самым были подтверждены условия применимости модели (1)-(2).

Результаты математического моделирования процесса функционирования ПСП города Кингисепп представлены в таблице. Значения всех критериев монотонно убывают с увеличением числа ПСП (что соответствует повышению уровня противопожарной защиты города), поэтому из экономических соображений необходимо ограничиться таким числом N подразделений, которое обеспечивает достаточно малые значения рассматриваемых критериев.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что пожарно-спасательной части города Кингисепп, для обеспечения высокого уровня противопожарной защиты, достаточно иметь в боевом расчёте 7 подразделений на основных пожарных автомобилях. При этом в течение года для обслуживания вызовов ПСП в городе Кингисепп потребуется привлечь дополнительные подразделения извне лишь в единичных случаях (частота отказов равна 0,9), а суммарная продолжительность занятости дополнительных сил составит около 0,5 часа за год.

Таблица

Результаты моделирования процесса функционирования ПСП г. Кингисепп

Число ПА в городе, N	Вероятность отказа	Суммарная продолжительность времени привлечения дополнительных средств (ч/год)	Частота отказов, случаев/год		
			суммарная частота отказов	частота полных отказов	частота частичных отказов
0	0,056604	495,8	764	764	0
1	0,031413	275,1	299,7	43,2	256,5
2	0,016603	145,1	84,5	23,9	60,6
3	0,008759	76,7	17,2	12,6	4,6
4	0,003977	51,1	5,7	3,6	2,1
5	0,001810	29,6	2,4	1,1	1,3
6	0,000758	8,2	2,1	0,9	1,2
7	0,000004	0,5	0,9	0,5	0,4

Таким образом, применение математического моделирования позволяет принимать научно-обоснованные организационно-управленческие решения, способствующие повышению уровня противопожарной защиты города.

Список литературы

1. Брушлинский Н.Н., Кафидов В.В., Козлачков В.И. и др. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства. – М.: Стройиздат, 1988. 413 с.
2. Соболев Н.Н. Моделирование организационно-управленческих ситуаций: Курс лекций для слушателей очной и заочной форм обучения. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 68 с.

СОВРЕМЕННЫЕ СТАЛИ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Коваленко И.А.

доцент кафедры физического металловедения, канд. техн. наук,
Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

Ласкин Д.В., Трифонова А.Ю.

студенты, Липецкий государственный технический университет,
Россия, г. Липецк

В статье рассматриваются стали европейского стандарта для использования в современной автомобильной промышленности, их особенности и преимущества.

Ключевые слова: сталь, автолистовая сталь, индустрия, микроструктура, механические свойства.

Автомобильная индустрия – это постоянно развивающийся и растущий сектор мировой промышленности. А развитие индустрии подразумевает использование новых материалов. Этот момент не обошел и автолистовую сталь.

Традиционно для производства различных частей кузова использовалась автолистовая сталь марки 08Ю. Но в последнее время более высоким спросом стала пользоваться сталь евростандарта HC260LA. Связано это с её свойствами и технологией производства. Все чаще эта сталь используется для изготовления отдельных деталей кузова, таких как крыша, капот, двери и стойки.

Для сталей, которые используются в автомобильной промышленности, одной из важнейших характеристик является прочность. Использование сталей повышенной прочности дает много положительных моментов по сравнению с обычными сталями для глубокой вытяжки. Важнейшие из них – снижение массы готового изделия и повышение его жесткости. Первое, из вышперечисленных, снижает расход материала, что в свою очередь снижает воздействие на окружающую среду, при этом, не влияя на свойства продукта, а второе приводит к увеличению пассивной безопасности будущего автомобиля.

Для выполнения таких требований используются стали, в которых суммарное содержание легирующих элементов составляет не больше 0,22 % по массе, а их количество от одного до нескольких. Основные легирующие элементы – это ниобий (Nb), титан (Ti) или ванадий (V), а так же иногда марганец (Mn) (таблица 1).

Таблица 1

Химический состав сталей повышенной прочности [1]

Марка	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Al, %	Ti, %	Nb, %
HC260LA	0,1	0,5	1,0	0,030	0,025	0,015	0,15	0,09
HC300LA	0,12	0,5	1,4	0,030	0,025	0,015	0,15	0,09
HC340LA	0,12	0,5	1,5	0,030	0,025	0,015	0,15	0,09
HC380LA	0,12	0,5	1,6	0,030	0,025	0,015	0,15	0,09
HC420LA	0,14	0,5	1,6	0,030	0,025	0,015	0,15	0,09
HC460LA	0,14	0,6	1,8	0,030	0,025	0,015	0,15	0,09
HC500LA	0,14	0,6	1,8	0,030	0,025	0,015	0,15	0,09

Стандартом [1] установлено 7 классов прочности в зависимости от минимальной величины предела текучести: 260, 300, 340, 380, 420, 460, 500 Н/мм². Механические свойства сталей определяют на образцах, вырезанных поперек направления проката (начальная расчетная длина образца 80 мм). Требования, предъявляемые к механическим свойствам таких сталей, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Механические свойства сталей повышенной прочности [1]

Марка	Предел текучести, Н/мм ²	Предел прочности, Н/мм ²	Относительное удлинение, % (не менее)
HC260LA	с 260 до 330	с 350 до 430	26
HC300LA	с 300 до 380	с 380 до 480	23
HC340LA	с 340 до 420	с 410 до 510	21
HC380LA	с 380 до 480	с 440 до 580	19
HC420LA	с 420 до 520	с 470 до 600	17
HC460LA	с 460 до 580	с 510 до 660	13
HC500LA	с 500 до 620	с 550 до 710	12

Микроструктура стали HC260LA представлена на рисунке. Она представляет собой – феррит с баллом зерна 6-8 и структурно свободный цементит с зерном 0,5-1 балл.

Полученные при такой структуре свойства стали представлены в таблице 3. Они достигаются благодаря дисперсионному упрочнению за счет мелких карбонитридов ниобия и титана, измельчению зерна и дополнительному твердорастворному упрочнению вследствие повышенного содержания марганца, т.е. благодаря использованию легирующих элементов [2, 3].

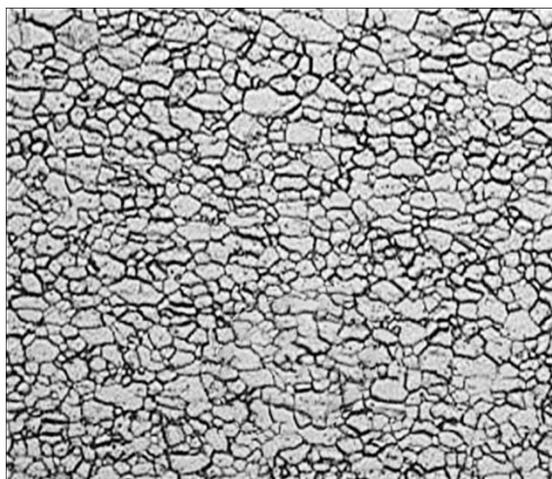


Рис. Микроструктура стали HC260LA

Таблица 3

Механические свойства стали марки HC260LA

Сталь	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение
	Н/мм ²		%
HC260LA	265	353	29

Таким образом, использование сталей повышенной прочности для автомобильных кузовов имеет неоспоримое преимущество по сравнению с обычными сталями для глубокой вытяжки.

Список литературы

1. Изделия плоские холоднокатаные из стали с высоким пределом текучести для холодного формования. Общие условия поставки. Стандарт EN 10268-2013, 01.12.2013, 15 с.
2. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1985, 408 с.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. Учебник для машиностроительных вузов – 2-е издание. М.: Машиностроение, 1980, 493 с.

**ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ СТАНДАРТНЫХ ФОРМ ЗАГОТОВОК
ДЛЯ ПОКОВОК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Костенко К.А.

магистрант кафедры «Технологии формообразования и художественная обработка материалов», Донской государственной технической университет, Россия, г. Ростов-на-Дону

Рассматривается вариант оценки возможности применения стандартных заготовок без заготовительных переходов, для штамповки поковок сложной геометрической формы. В качестве формы заготовки, в том числе, рассматривается фасонная H-образная конфигурация сечения, которая может быть получена на этапе заготовительного (прокатного) производства. Для анализа используется форма поперечного сечения поковки со значени-

ем критерия её сложности 2.49, а в качестве инструмента оценки – конечно элементный программный продукт QForm v.5.1.

Ключевые слова: открытая объемная штамповка, метод конечных элементов, критерий сложности геометрической формы, дефекты выполнения формы.

Сложность геометрической формы поковок при открытой штамповке оказывает существенное влияние на количество заготовительных формообразующих технологических операций.

В этой связи уже давно предпринимались попытки оценить количественно геометрическую сложность поковок. Так в ГОСТ 7505 – 89 в этих целях рекомендуется использовать параметр степени сложности поковки, который по данным работы [1, с. 158] не всегда позволяет количественно классифицировать этот показатель для близких геометрических форм. В этой связи ранее неоднократно предпринимались попытки модифицировать методику количественной оценки сложности форм поковок. Некоторые из таких вариантов оценки приводятся в работе [1, с. 158] где, в частности, рассматриваются различные варианты «критерия геометрической сложности S_T ». Рассматриваемая в работе поковка, критерий геометрической сложности которой в соответствии с [2, с. 165-169] составляет $S_T=2.49$ оценивается с позиций выполнения формы по результатам конечно-элементного моделирования.

В настоящих исследованиях конечно-элементному анализу [3, с. 9-11] подвергается процесс штамповки поковки с сечением сложной конфигурации (рис.1, б) в целях определения рациональных форм и размеров заготовок. В процессе анализа уточняется возможность получения бездефектного граничного контура математической модели поковки за один технологический переход.

Исследования охватывают различные формы заготовок, размеры которых определялись из условия равенства их объемов с объемом поковки, именуемым в работе [4] рациональным, когда размеры технологического облоя не превышали пределов его мостовой части. В подобных случаях неправильный выбор конфигурации заготовки гарантированно приводит к дефектам невыполнения формы.

Анализ схем процессов охватывал заготовки круглого сечения диаметрами 65 и 66 мм, применение которых независимо от их принудительного позиционирования в ручье штампа не привело к позитивным результатам. Заготовки данного сечения формировали преждевременное течение металла в облой, что способствовало незаполнению ручья, а в некоторых случаях, в зависимости от позиционирования заготовок в штампе, и к образованию дефекта «зажим».

Применение стандартной заготовки квадратного сечения 58×58 мм. (рис. 1) по результатам моделирования приводит как к превышению объема, так и к перераспределению металла в области облойного магазина левой части сечения поковки (рис. 1, б). Течение в этой части также провоцирует повышение интенсивности деформированного состояния.

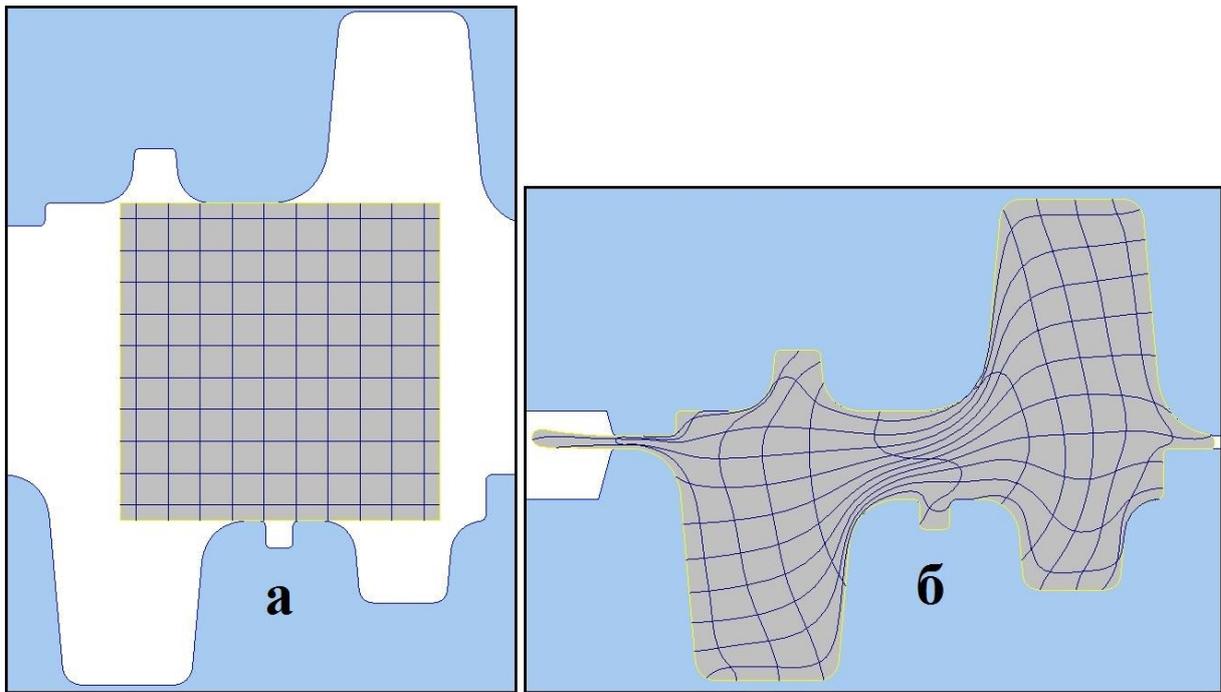


Рис. 1. Стадии моделирования процесса штамповки из заготовки размером 58×58 мм:
а) сечение заготовки; б) сечение поковки

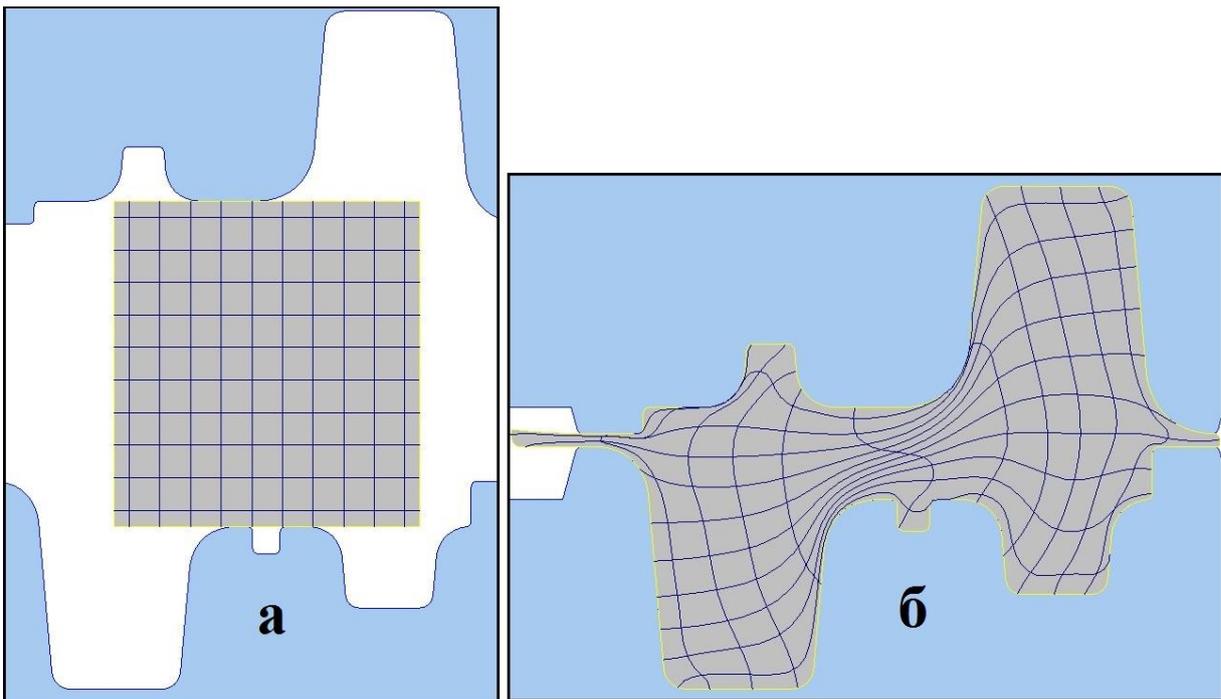


Рис. 2. Стадии моделирования процесса штамповки из заготовки размером 56×60 мм:
а) сечение заготовки; б) сечение поковки

Заготовки прямоугольной формы размерами 56×60 и 54×62 мм, установленные вертикально в рациональном месте ручья – по центру масс будущей поковки (именно такое расположение, с позиций предъявляемых требований к процессу формообразования, даёт лучшие результаты), несколько снижают вытеснение металла в облой, не существенно меняя картину деформации координатной сетки Лагранжа (рис. 2 и 3).

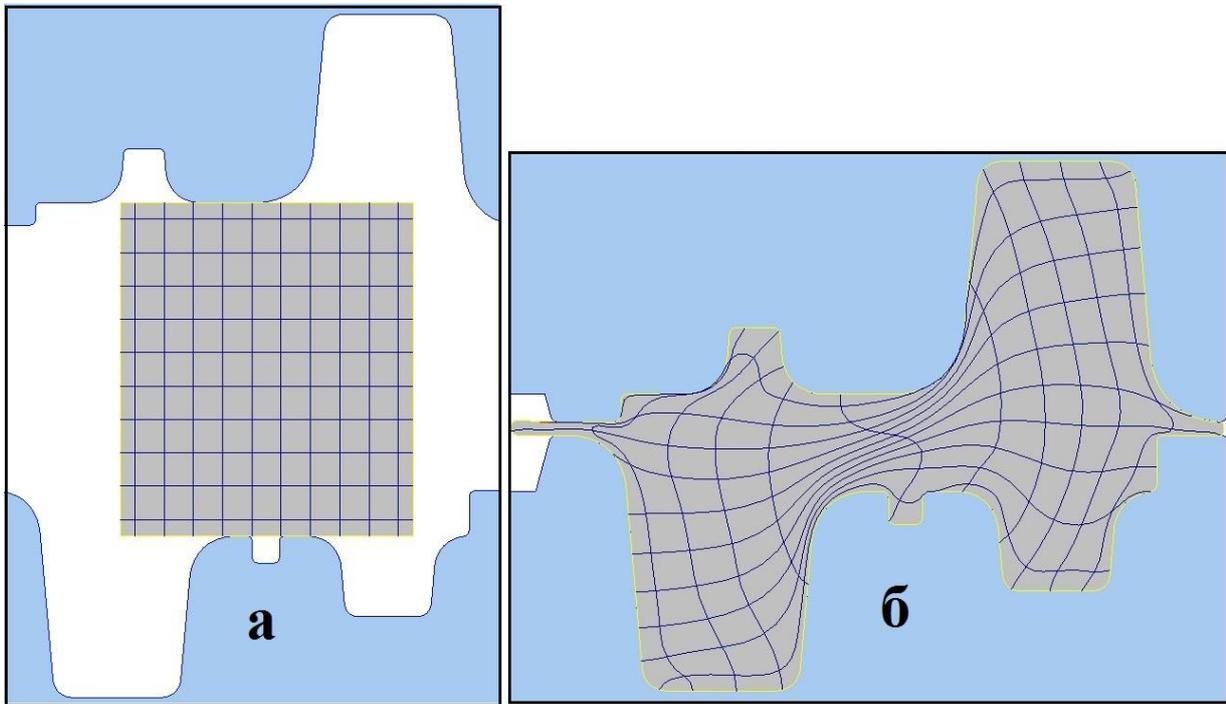


Рис. 3. Стадии моделирования процесса штамповки из заготовки размером 54×62 мм:
а) сечение заготовки; б) сечение поковки

В целях поиска лучших результатов рассматривались не типовые стандартные заготовки Н-образной формы, которые можно получить на этапах заготовительного – прокатного производства [5, с. 8-10]. Их размеры показаны на рис. 4.

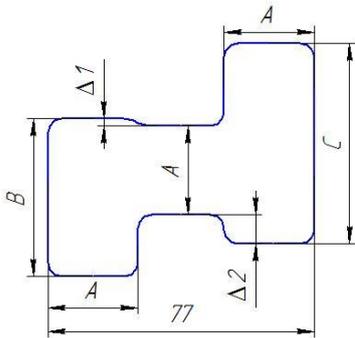


Рис. 4. Схема конфигурации сечений заготовок Н-образной формы с постоянными ($A=26$ мм, $B=46$ мм, $C=58,5$ мм) и варьируемыми Δ_1 , Δ_2 размерами

Анализ многообразия заготовок распространялся на формы с неизменными параметрами $A=26$ мм, $B=46$ мм, $C=58,5$ и варьируемыми величинами Δ_1 и Δ_2 (рис. 4). Иллюстрацией к сказанному являются данные моделирования, представленные на рис. 5.

Заготовки Н-образной формы сечения дают полное заполнение ручья штампа без вытеснения металла в магазинную часть облоя; наблюдается так же образование зажимов у заготовок с варьируемыми параметрами $\Delta_1 > 1$ мм, $\Delta_2 > 7,5$ мм. Результаты моделирования Н-образных заготовок представлены на рис. 5 и 6, соответственно. Размеры зажима изображены на рис. 5в, они входят в линейный допуск размеров поковки по ГОСТ 7505 – 89.

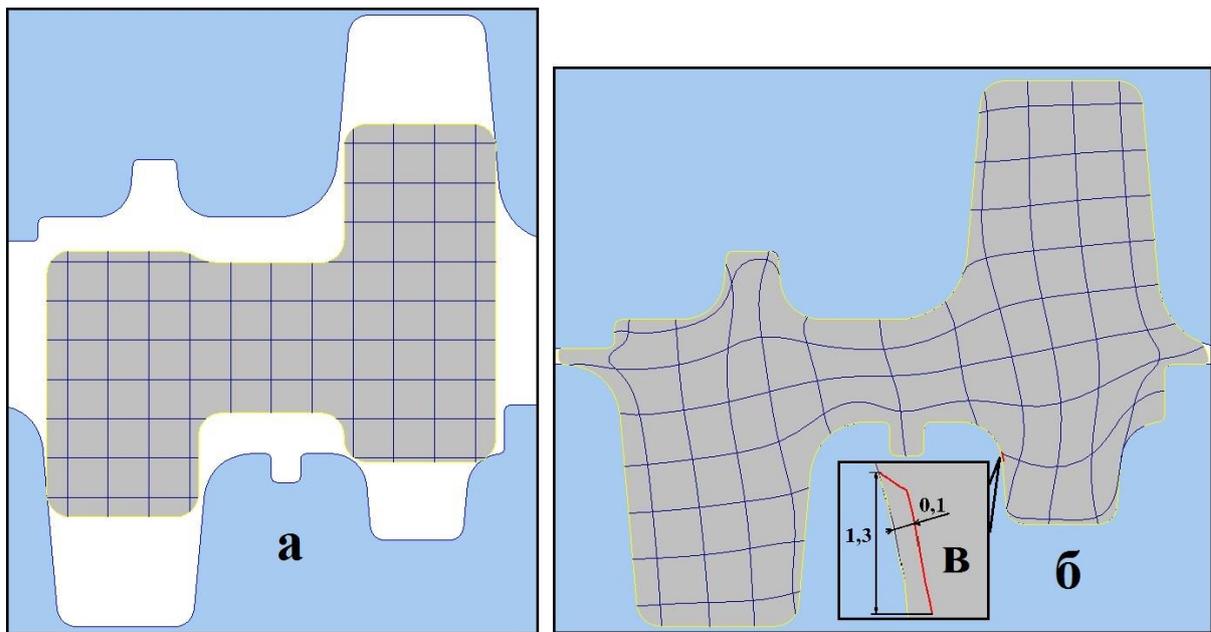


Рис. 5. Стадии моделирования процесса штамповки из Н-образной заготовки с варьируемыми размерами $\Delta_1=2$ мм и $\Delta_2=8,5$ мм: а) сечение заготовки; б) сечение поковки; в) сечение области с дефектом «зажим»

Процесс моделирования показал, что уже при сложности формы поковки $S_r=2,49$ получить её форму бездефектно из заготовок «круг», «квадрат», «прямоугольник», при соблюдении условия рационального объема металла (мостовая часть облоя + объём «чистой» поковки) достаточно сложно без введения заготовительных ручьев. Отмеченный недостаток приводит к необходимости поиска иных технологических решений, а именно – к выбору заготовок из группы Н-образной формы, параметры которых так же подбираются индивидуально к форме поковки.

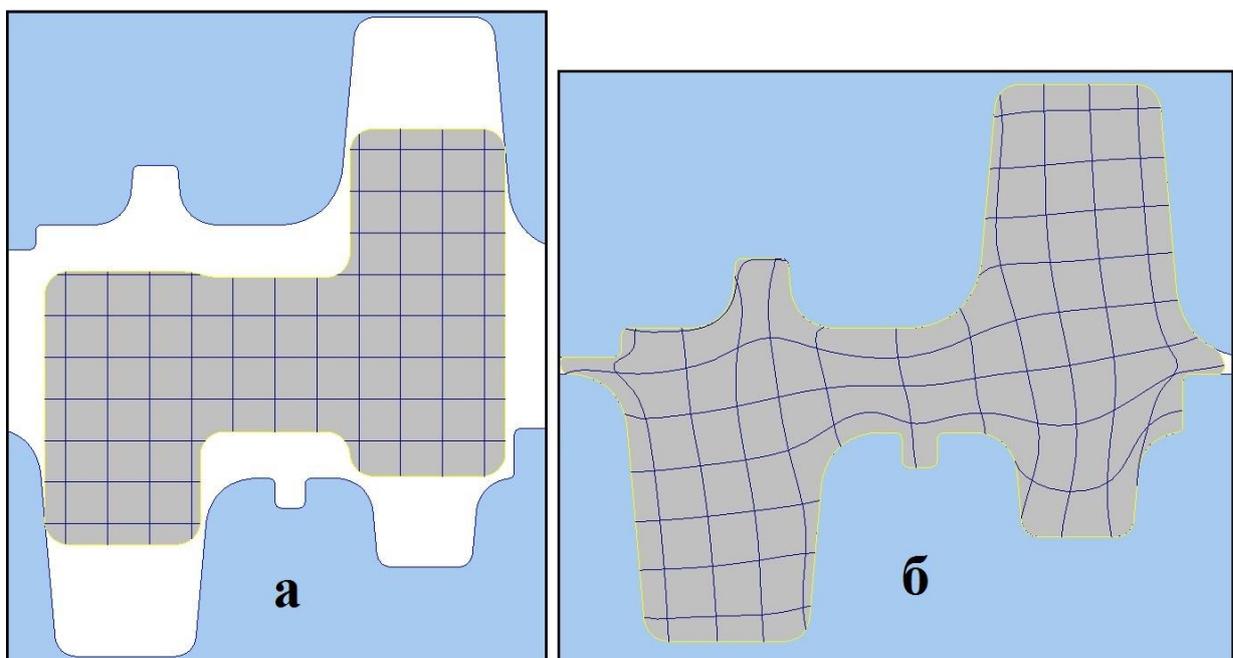


Рис. 6. Стадии моделирования процесса штамповки из Н-образной заготовки с варьируемыми размерами $\Delta_1=1$ мм и $\Delta_2=7,5$ мм: а) сечение заготовки; б) сечение поковки

В работе рассматривались критерии готовности поковки исключительно в плане выполнения её геометрической формы. Отмеченное не совсем корректно ввиду того, что важным является также и формируемое внутреннее состояние, в частности, оцениваемое по параметрам распределения деформированного состояния в объёме поковки. Этому направлению исследований будет уделено внимание в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Алиев Ч.А., Тетерин Г.П. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объёмной штамповки. М.: Машиностроение, 1987. 224 с.
2. Катрич О.И., Костенко К.А., Вовченко А.В. О проектировании процессов ковки и объёмной штамповки с применением численного моделирования / Современные тенденции развития науки и технологий: сб. науч. тр. по мат-лам VII Междунар. науч.-практ. конф. 31.10.2015: в 10 ч. Под общ. ред. Е.П. Ткачевой. – Белгород: ИП Ткачева Е.П., 2015. – № 7, часть II. С. 165-169.
3. Гун Г.Я., Биба Н.В., Лишний А.И. [и др.] Система ФОРМ-2Д и моделирование технологии горячей объёмной штамповки / Кузнечно-штамповочное производство. – 1994. – №7. – С. 9-11.
4. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М.: Машиностроение, 1966. 548 с.
5. Резников Ю.Н., Калинин Г.Г. Оптимизация заготовительных ручьев для поковок изготавливаемых объёмной штамповкой. / Кузнечно-штамповочное производство: Машиностроение, 1998. №10. С. 8-10.

РОЛЬ SDN В ЭВОЛЮЦИИ ТРАДИЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Курносова Е.Н.

бакалавр, студент факультета магистратуры
по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»,
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Россия, г. Новосибирск

В статье программно-конфигурируемые сети рассматриваются в качестве альтернативы традиционным сетям связи. Основываясь на открытых стандартах, SDN позволят привести инфраструктуру сети в соответствии с потребностями операторов связи и компаниями-производителями сетевого оборудования. Предполагается, что переход к сетям SDN позволит существенно сократить число используемых протоколов при повышении управляемости сети.

Ключевые слова: SDN, программно-конфигурируемые сети, коммутатор SDN.

С ростом нагрузки на сети возрастает сложность управления сетями, повышаются требования к надежности и безопасности [5]. Сетевые устройства постоянно усложняются, помимо того что они должны поддерживать стандартные протоколы, при этом некоторые производители внедряют собственные проприетарные технологии. Проблемы современных сетей привели к появлению нового подхода – программно-конфигурируемым сетям (Software-Defined Network, SDN) [4]. Технологии SDN позволяют трансформиро-

вать действующие в настоящий момент статические сети в гибкие, программируемые платформы с интеллектом – для динамического распределения ресурсов, масштабируемостью – для поддержки крупномасштабных ЦОД и виртуализацией – для поддержки динамической, высоко автоматизированной и безопасной облачной среды. Учитывая многочисленные преимущества, SDN может стать новым стандартом для будущих сетей.

Сети SDN открывают большие возможности для промышленности и бизнеса, позволяя решать задачи повышения пропускной способности каналов, упрощения управления сетью, перераспределения нагрузки, повышения масштабируемости сети и др. Каждая компания, в зависимости от своих потребностей, может внедрить решение, соответствующее конкретно ее задачам.

В традиционных коммутаторах и маршрутизаторах функции передачи трафика и функции управления неотделимы друг от друга. Главная идея программно-конфигурируемых сетей – разделение этих функций. В концепции SDN сеть, состоящая из множества устройств, представлена как логический коммутатор. SDN позволяет программировать сеть как единое целое, а не по отдельным коммутаторам. Узлы традиционной сети и SDN показаны на рис. 1.

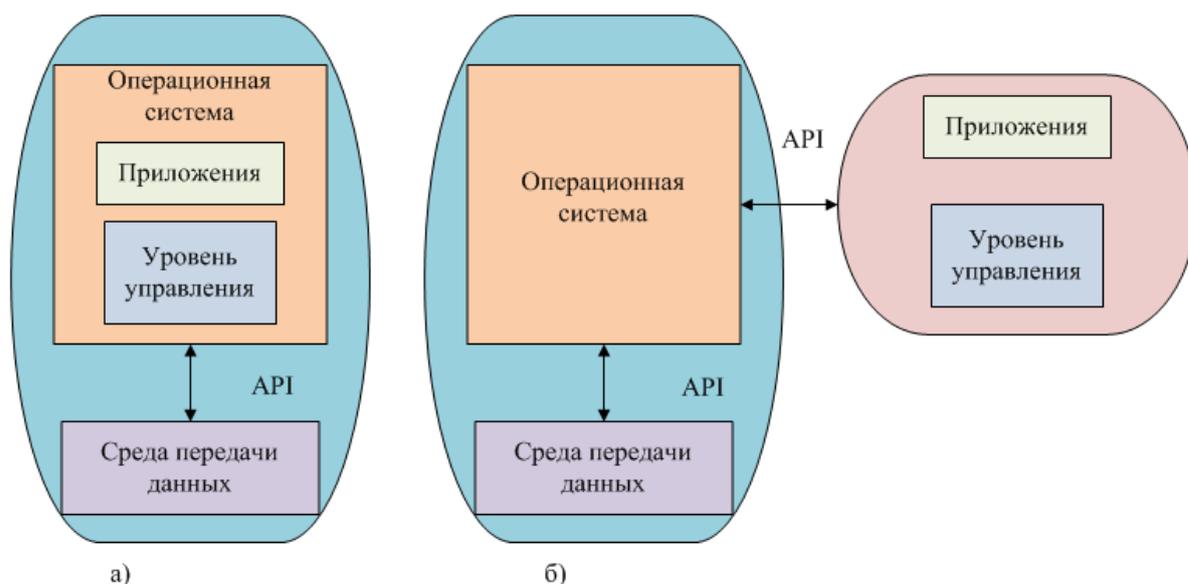


Рис. 1. Сетевые узлы: а) узел традиционной сети;
б) узел сети SDN (уровень управления экстрагирован)

В структуре сети передачи данных в соответствии с концепцией SDN выделяют уровни [4,2]:

- инфраструктурный уровень: включает в себя среду передачи данных (сетевые устройства, каналы передачи данных);
- уровень управления: включает в себя контроллер, решающий низкоуровневые задачи по управлению сетью;
- уровень сетевых приложений: включает в себя прикладные решения (обеспечение безопасности, балансировка нагрузки, программный межсетевой экран, средства администрирования, управление доступом и др.).

Логическая модель структуры сети SDN представлена на рис. 2.

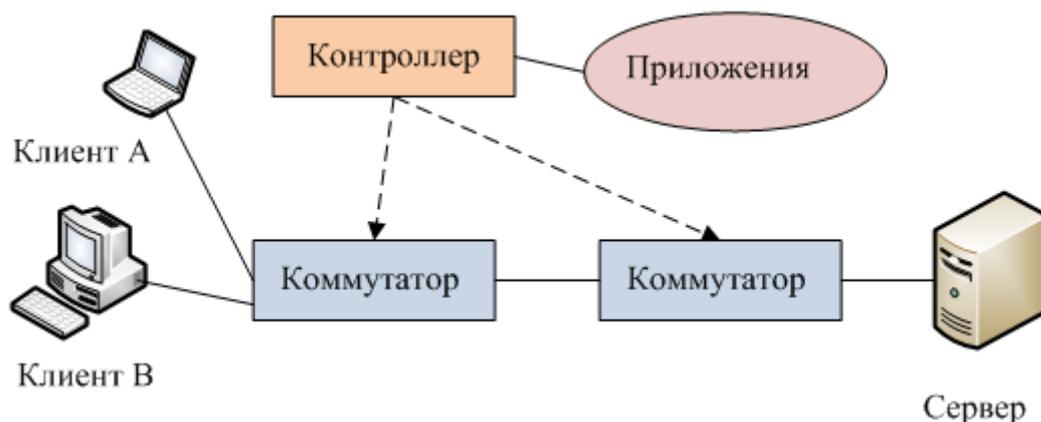


Рис. 2. Организация программно-конфигурируемых сетей передачи данных

Коммутатор SDN представляет собой простой коммутирующий элемент, который пересылает пакеты между портами. Сами правила для коммутации определяются непосредственно удаленным контроллером.

Каждый коммутатор имеет одну или несколько таблиц потоков и канал, обеспечивающий передачу служебной информации между контроллером и коммутатором. Записи в таблицах потоков определяют порядок обработки поступающих на вход коммутатора пакетов. Коммутатор SDN может поддерживать одно или несколько (для обеспечения надежности) соединений с разными контроллерами SDN.

Все более ясным становится тот факт, что SDN кардинально изменит подход к проектированию, развертыванию и управлению сетями, хотя пока доминирует традиционный подход к построению сетей, SDN уже сейчас эффективно решает задачи на стыке виртуальных и физических сред. Переход к SDN – это поэтапный процесс, не требующий полной замены сетевой инфраструктуры. Основанные на открытых стандартах программно-конфигурируемые сети, позволят привести сетевую инфраструктуру в соответствие с потребностями бизнеса. Кроме того, клиент не будет привязан к какой-то конкретной компании-производителю, поэтому сможет использовать технологии различных компаний.

Список литературы

1. Casado M., Garfinkel T., Akella A., Freedman M.J., Boneh D., McKeown N., Shenker S. SANE: A Protection Architecture for Enterprise Networks // 15th Usenix Security Symposium, Vancouver, Canada. August 2006. 15 p.
2. Draft ITU-T Recommendation Y.FNsdn Framework of Telecom SDN (Software-Defined Networking) // International Telecommunication Union. Telecommunication Standardization Sector. 2013. 26 p.
3. McKeown N., Anderson T., Balakrishnan H., Parulkar G., Peterson L., Rexford J., Shenker S., Turner J. Openflow: Enabling innovation in campus networks // SIGCOMM Computer Communication Review. 2008. Vol. 38, No 38. P. 69-74.
4. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks // Open Networking Foundation White Paper. 13 April 2012. 12 p.
5. Webster D. Cisco Visual Networking Index (VNI). Global Forecast Update; 2012-2017 // Cisco Public. 6 January 2014. P.6.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 2007

Максимова Д.Л.

магистрант кафедры металловедения и термической обработки металлов,
Институт цветных металлов и материаловедения, Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск

Герасимов И.В.

магистрант кафедры металловедения и термической обработки металлов,
Институт цветных металлов и материаловедения, Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск

В статье исследование структуры и свойств полуфабрикатов из алюминиевого сплава 2007 исследуется структура и свойства сплава 2007 при разных режимах термической обработки, а также определение влияния режимов охлаждения при закалке на коррозионную стойкость сплава 2007.

Ключевые слова: сплав 2007, закалка, микроструктура, механические свойства, межкристаллитная коррозия.

Алюминиевые сплавы занимают важнейшее место среди конструкционных материалов. Процесс производства качественных изделий из алюминиевых сплавов достаточно трудоемкий. Применение технологий, сокращающих продолжительность изготовления полуфабрикатов является актуальной задачей.

В настоящее время главным вопросом в производстве алюминиевых полуфабрикатов является выбор оптимальных технологий для получения качественной, коррозионностойкой, с высокими механическими свойствами алюминиевой продукции.

Целью настоящей работы является определение влияния термической обработки на структуру и свойства полуфабрикатов из алюминиевого сплава 2007.

Сплав 2007 относится к системе Al-Cu-Mg. Согласно теоретическим данным, сплавы типа дуралюмина имеют узкий интервал температуры закалки 495-510 °С. Закалку проводят в вертикальных закалочных печах. При охлаждении полуфабрикатов толщиной более 30 мм, температуру воды при закалке следует поддерживать в интервале 25-40 °С для уменьшения вероятности появления закалочных трещин и коробления. Ограничение верхнего предела температуры воды при закалке (40 °С) требуется для предотвращения снижения коррозионной стойкости [2].

Для возможности применения закалки на столе пресса для сплавов системы Al-Cu-Mg было исследовано влияние режимов термической обработки на структуру и механические свойства прутков из сплава 2007.

Исследование проводили на прутках диаметрами 43 и 57 мм в горяче-прессованном состоянии и после закалки с различными режимами охлаждения.

Микроструктура прутков в продольном направлении представляет собой вытянутые зерна α -твердого раствора на основе алюминия и частиц фаз, расположенных также вдоль направления деформации (рисунок). В структуре также наблюдаются небольшие участки рекристаллизованного металла.



Рис. Микроструктура ($\times 500$) прутков из сплава 2007:
a – диаметр 43 мм, *б*– диаметр 57 мм

Проводили исследования по влиянию режима закалочного охлаждения на структуру и свойства прутков, диаметром 43 и 57 мм. Температура закалки составляла 450 °С, 480 °С, 500 °С, время выдержки при закалке 30 и 60 минут, охлаждение проводили в воду с температурой 20, 40 и 80 °С.

Металлографические исследования прутков из сплава 2007 существенных различий в структуре образцов, термообработанных по различным режимам, не выявили.

Анализ механических свойств показал, что с увеличением температуры воды при охлаждении происходит снижение прочностных характеристик. Значения пластичности и твердости остаются практически неизменными (таблица 1).

Таблица 1

Механические свойства прутков из сплава 2007 при закалке с 495 ± 3 °С, с временем выдержки 30 мин

Диаметр, мм	Температура воды при закалке, °С								
	20			40			80		
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	σ_B , МПа	δ , %	НВ	σ_B , МПа	δ , %	НВ
57	404	17	100	365	15	100	360	14	101
43	414	15	100	389	17	100	372	16	103

С увеличением температуры закалки и времени выдержки при заданной температуре возрастает прочность и твердость прутков, что связано с более полным растворением легирующих элементов в твердом растворе (таблица 2). Пластичность при охлаждении в воде 40 °С снижается.

**Механические свойства прутков из сплава 2007 диаметром 57 мм
при температуре закалки 500 ±3 °С**

Время выдержки при закалке, мин	Температура воды при закалке, °С					
	40			80		
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	σ_B , МПа	δ , %	НВ
30	365	17	100	360	14	101
60	459	12	120	445	14	119

При закалке в воде с температурой 80 °С относительное удлинение изменяется неоднозначно, скорее всего, замедление скорости охлаждения в данном случае играет большую роль в снижении пластичности, чем изменение температуры закалки и времени выдержки.

**Механические свойства прутков из сплава 2007 диаметром 57 мм
при закалке с временем выдержки 60 мин**

Температура закалки	Температура воды при закалке, °С					
	40			80		
	σ_B , МПа	δ , %	НВ	σ_B , МПа	δ , %	НВ
450	356	13	100	339	13	98
480	425	12	105	410	10	106
500	459	12	120	445	14	119

Дальнейшей задачей исследования было определение влияния режимов охлаждения при закалке на коррозионную стойкость сплава 2007. Для этого проводили испытания на межкристаллитную коррозию (МКК) по ГОСТ 9.021-74. Для исследования выбрали образцы из прутков диаметром 43 мм после закалки с 495 °С в воде 20, 40 и 80 °С. Испытания проводили в растворе, содержащем: 3 %-ный раствор хлористого натрия и 1 % соляной кислоты при комнатной температуре в течение 24 ч.

Анализ результатов показал, что в образцах, полученных при закалочном охлаждении в воде 20 °С, межкристаллитная коррозия практически отсутствует. Были обнаружены единичные места с глубиной проникновения до 15 мкм. В образцах, охлажденных при закалке в подогретой до 40 °С воде, наблюдались единичные участки с глубиной проникновения коррозии до 40 мкм и выявлен большой участок межкристаллитной коррозии до 210 мкм. В образцах, охлажденных при закалке в воде 80 °С, было выявлено большое количество участков коррозии с глубиной проникновения 30-50 мкм, а также участки межкристаллитной коррозии 170-185 мкм. Следовательно, подогрев воды начиная с 40 °С при закалке приводит к усилению межкристаллитной коррозии образцов из алюминиевого сплава системы Al-Cu-Mg.

Данное испытание показало, что с увеличением температуры воды при закалке приводит к усилению межкристаллитной коррозии образцов из алюминиевого сплава системы Al-Cu-Mg.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы:

1. С увеличением температуры воды при охлаждении происходит снижение прочностных характеристик. Значения пластичности и твердости остаются практически неизменными.

2. Увеличение температуры воды при закалочном охлаждении позволит уменьшить величину остаточных напряжений, но будет усиливать развитие межкристаллитной коррозии. Поэтому во избежание коррозионного растрескивания полуфабрикатов из сплавов системы Al-Cu-Mg рекомендуется охлаждение в воде, нагретой не выше 40 °С.

Список литературы

1. Алюминий: свойства и физическое металловедение: Справ. изд. Пер. с англ. / Под ред. Хэтча Дж. Е. – М.: Металлургия, 1989. – 422 с.

2. Колачев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учебник для вузов / Б.А. Колачев, В.И.Елагин, В.А.Ливанов – М.: «МИСИС», 2005. – 432 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОСНОВЫ ДЛЯ ПИЦЦЫ ПУТЁМ ВНЕСЕНИЯ ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОЙ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Маслова В.А.

магистрант 2 курса кафедры сервиса и ресторанного бизнеса, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, г. Воронеж

Белокурова Е.В.

доцент кафедры сервиса и ресторанного бизнеса, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Россия, г. Воронеж

В статье содержится информация о технологиях производства основы для пиццы с внесением цельнозерновой пшеничной муки. Целью данного исследования является разработка технологии основы для пиццы из дрожжевого теста с частичной заменой муки пшеничной высшего сорта на цельнозерновую пшеничную муку. В данной статье приведен анализ физико-химических показателей качества полуфабриката. Анализ данных позволил определить оптимальную дозировку введения цельнозерновой пшеничной муки.

Ключевые слова: дрожжевое тесто, цельнозерновая пшеничная мука, физико-химические показатели качества.

В основе современных представлений о здоровом питании лежит разработанная концепция оптимального питания, предусматривающая необходимость и обязательность полного обеспечения потребностей организма.

Здоровое питание в первую очередь подразумевает под собой натуральные или «органические» продукты, характеризующиеся тремя параметрами: органическое сырье, органические ингредиенты и щадящий технологический процесс.

Важная составляющая здорового питания – это зерновые культуры, овощи, фрукты и ягоды, т.к. они являются основным источником витаминов и пищевых волокон [4, с. 96].

В настоящее время в пищевой промышленности большое внимание уделяется разработке новых видов мучных кулинарных изделий с внесением цельнозерновой пшеничной муки. Цельнозерновая мука (ЦЗМ) – это мука, приготовленная из зерна не очищенного от наружных слоев эндосперма, зародыша и оболочки. Без них зерно является пустым углеводом, рафинированным продуктом, приводящем к затруднению работы желудочно-кишечного тракта, ожирению, сахарному диабету и другим заболеваниям. Выбор вносимой добавки при производстве мучных кулинарных изделий связан с особенностями химического состава цельнозерновой пшеничной муки и её воздействия на организм человека. Она богата белками, углеводами, витаминами, макро- и микроэлементами и является важным сырьевым источником, повышающим пищевую и биологическую ценность продуктов питания [1, с. 43].

Для оценки целесообразности применения выбранной добавки был проведен анализ физико-химических показателей качества полуфабрикатов после внесения цельнозерновой пшеничной муки и выявлены образцы с наилучшими показателями [3, с. 264].

Для сравнения использовали образец пшеничного теста, приготовленного по классической рецептуре. Опытные образцы готовили по аналогичной рецептуре с частичной заменой пшеничной муки высшего сорта в рецептуре на цельнозерновую пшеничную в количестве от 15 до 35%.

В процессе брожения теста каждые 30 мин определяли физико-химические показатели теста [2, с. 312].

В таблице приведены результаты, измерения физико-химических показателей теста в процессе брожения теста.

Таблица

**Изменение кислотности дрожжевого теста
с внесением цельнозерновой пшеничной муки**

Продолжительность брожения, мин.	Изменение кислотность пшеничного теста, град.					
	Контроль (0 %)	Образцы с внесением цельнозерновой пшеничной муки				
		1	2	3	4	5
0	1,4	1,0	1,0	1,4	1,2	2,0
30	2,2	1,6	1,6	1,8	2	2,4
60	2,6	1,8	2,0	2,4	2,2	3,2
90	3,0	2,4	2,8	3,0	3,2	3,6
Влажность теста, %						
0	43,5	46,2	43,9	43,7	42,0	41,7
90	42,5	45,7	43,2	43,0	39,2	39,5

В результате данных исследований лучшими были призваны образцы с внесением в рецептуру цельнозерновой пшеничной муки в количестве 20 и

25%. Для изделий признанных лучшими была проведена органолептическая оценка качества.

Таким образом, разработка мучных кулинарных изделий с внесением цельнозерновой пшеничной муки позволяет улучшить физико-химические и органолептические показатели качества полуфабрикатов, а также использование в качестве вносимой добавки цельнозерновой пшеничной муки позволяет получить изделия с высокой пищевой и биологической ценностью, лечебно-профилактической направленности.

Список литературы

1. Белокурова Е.В. Способы повышения качества ржано-пшеничных сортов хлеба с помощью нетрадиционных сырьевых источников / Белокурова Е.В., Дерканосова Н.М., Малютина Т.Н / Е.В. Белокурова // Хранение и переработка зерна. – № 5, 2008. – С.43-44.
2. Пашенко Л.П. Физико-химические основы технологии хлебобулочных изделий : учебное пособие / Л.П. Пашенко. – Воронеж, 2006. – 312 с.
3. Пучкова Л.П. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства : учебное пособие для студ. ВУЗов (гриф УМО). 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Гиорд, 2004. – 264 с.
4. Родионова Н.С. Изучение возможностей использования хмелевого экстракта в технологии тестовых заготовок для пиццы. [Текст] / Н.С. Родионова, Е.В. Белокурова, А.А. Северчук // Вестник ВГУИТ. – 2012. – №1. – С. 96-97.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СТРОИТЕЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА ИЗ СЫРЬЯ ЯКУТИИ

Осорова Р.С.

магистрант кафедры производства и применение строительных материалов, изделий конструкций, ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, г. Якутск

Колесов М.В., Васильев П.В.

бакалавры 4 курса кафедры производства и применение строительных материалов, изделий конструкций, ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, г. Якутск

Егорова А.Д.

доцент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций, канд. техн. наук, ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, г. Якутск

В статье рассматривается оптимизация состава глиняной шихты для производства керамических изделий на основе местного сырья Якутии.

Ключевые слова: лицевой кирпич, глина, цеолит, гашеная известь, BaCl, тонкомолотый стеклобой, прочность, плотность.

Проблема увеличения объема выпуска и повышения качества стеновой керамики – одна из важнейших для промышленности строительных материалов. В условиях современного строительства из керамических стеновых материалов наиболее востребован лицевой кирпич. Республика Саха (Якутия) располагает достаточно хорошей сырьевой базой глин и суглинков для производства керамических изделий. Запасы учтены Сводным отчетным балансом запасов строительных материалов республики по 15 месторождениям, суммарные запасы которых по категориям А+В+С1 составляют около 50 млн. куб. метров. Однако дефицит высококачественного лицевого кирпича наблюдается во многих регионах.

Одним из основных направлений повышения эффективности производства и качества керамического кирпича является подбор оптимального состава шихты. К настоящему времени накоплен богатый опыт применения различных корректирующих добавок для улучшения технологических свойств керамических масс и качества кирпича. В настоящее время, с увеличением объемов строительства, потребность в качественном, экологически чистом и долговечном стеновом материале, идет тенденция на возобновление производства керамических изделий. Поэтому для обеспечения качества готовой продукции и расширения спектра выпускаемых изделий необходимо разработать состав модифицирующей добавки к шихте, регулирующих строительно-эксплуатационные характеристики керамических изделий. В связи с этим разработка шихты с высокоэффективными модифицирующими добавками для глин является, несомненно, актуальной задачей.

Целью исследования является: Оптимизировать состав шихты для получения керамического кирпича с высокими строительно-эксплуатационными и физико-механическими характеристиками.

Объект исследования – керамический кирпич с улучшенными физико-механическими характеристиками и низкой себестоимостью.

Предмет исследования – эффективные составы керамического кирпича на основе Санниковской, Намцырской глины.

При получении образцов керамического кирпича использовались следующие сырьевые компоненты: в качестве глинистого сырья – глина Санниковского месторождения, глина Намцырского месторождения была взята для сравнения, с применением добавок: цеолита, С-3, извести, BaCl.

Химический состав исследуемых компонентов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Усредненные химические составы компонентов материалов

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	TiO ₂	SO ₃	п.п.п.
Глинистые материалы месторождений										
Санниковского	63,29	14,34	3,11	2,45	2,18	2,14	0,08	0,77	н/об н.	3,65
Намцырского	63,57	22,38	0,54	1,70	0,30	0,55	0,02	0,80	н/об н	5,38
Хонгуриин										
Цеолит	70,18	13,01	2,78	1,41	0,43	1,73	0,05	0,26	-	0,36

В результате исследований определено, что глина Санниковского месторождения относится к группе умереннопластичных, Намцырская – к среднепластичным и пригодны для производства полнотелого и эффективно-го кирпича.

Были изготовлены стандартные образцы цилиндры 50×50 мм из глин Санниковского и Намцырского месторождения с добавками тонкомолотого хонгурина, пластификатора, гашеной извести для повышения прочностных характеристик, согласно математического плана по шесть образцов на каждый состав. Результаты исследования технических характеристик составов с переменным соотношением компонентов приведены в табл.2.

Экспериментально установлено, что добавки тонкомолотого стеклобоя, цеолита, гашеной извести существенно повышают физико-механические свойства, а ВаСl устраняет появление высолов. После подготовки всех образцов, определили среднюю плотность, предел прочности на сжатие. Из полученных данных были рассчитаны среднеарифметические значения.

Таблица 2

Физико-механические характеристики полученных образцов

№ сост.	Санниковская глина+цеолит+ С-3+ гашеная известь+ВаСl		Санниковская глина+Намцырская глина		Санниковская глина+Намцырская глина	
	Прочность при сжатии, МПа	Сред. плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Сред. плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Сред. плотность, кг/м ³
Состав 1	12.85	1.57	23.67	1.92	31.93	1.86
Состав 2	2.043	1.45	25.03	1.91	46.84	1.85
Состав 3	0.82	1.33	22.63	1.88	69.58	1.76
Состав 4	9.69	1.64	21.88	1.86	20.07	1.70
Состав 5	5.35	1.54	26.08	1.77	24.95	1.77
Состав 6	4.16	1.41	33.03	1.86	27.14	1.72
Состав 7	15.71	1.64	21.56	1.75	26.20	1.76
Состав 8	2.44	1.44	27.22	1.81	23.43	1.72
Состав 9	2.88	1.41	22.25	1.76	24.58	1.68

Выявлено, что введение в состав шихты тонкомолотого стеклобоя обеспечивает высокие физико-механические свойства готовому изделию. При этом показатели прочности керамических образцов прямопропорционально увеличиваются при повышении расхода модифицирующих добавок. Прочность также зависит от количества содержания стеклобоя, чем его больше, тем выше показатели прочности.

Обоснована необходимость разработки модифицирующей эффективной добавки для получения керамического кирпича с повышенными физико-механическими и строительно-эксплуатационными свойствами. Установлены оптимальные составы из глин Санниковской и Намцырской глин.

Список литературы

1. Абрамова П.С., Егорова А.Д., Анцупова С.Г. Методические указания к лабораторным работам по строительным материалам и изделиям Якутии, – 2000. – 5 с.
2. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М.: Стройиздат. 1977. 239 с.

3. Салахов А.М. Керамика с высоким содержанием силикатов кальция / Салахов А.М., Тагиров Л.Р., Морозов В.П., Кабиров Р.Р., Салахова Р.А., Фасеева Г.Р. // Строительные материалы. – 2012. – №8. – С. 32-34.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ГОРНОГО ПЕСКА ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Протодьяконов Е.И.

аспирант кафедры производства строительных материалов,
Инженерно-технический институт, СВФУ им М.К Аммосова,
Россия, г. Якутск

Егорова А.Д.

доцент кафедры производства строительных материалов, канд. техн. наук,
доцент, Инженерно-технический институт, СВФУ им М.К Аммосова,
Россия, г. Якутск

В статье рассматривается органоминеральная добавка на основе горного песка для бетонов и растворов, позволяющая увеличить прочность бетона, при этом уменьшая расход вяжущего вещества до 15%.

Ключевые слова: бетон, добавка, модификация.

В Республике Саха (Якутия) крупными компаниями часто используется обычные виды бетонов (не модифицированных), только с использованием различных видов пластификаторов. Все это ведет к удорожанию продукции, к увеличению расхода самого дорого компонента – портландцемента.

Известно, что при выпуске цемента с минеральными добавками удельный расход топлива сокращается на 10-35 %, электроэнергии на 12 %.

Для решения задачи повышения эффективности бетонов, необходимо модифицировать их органическими и минеральными добавками.

Кильдямское месторождение. Было разведано в 1940 г геологической партией Управления промышленности строительных материалов при СНК ЯАССР. Согласно данным отчета начальника поисково-разведочной партии на сырье для строительных материалов М.И. Кочетова, запасы полезного ископаемого по категории А2 составляют 87,7 тысячи м³, по категории С1 – 2,3 тысячи м³. Общие запасы составляют 90000 м³ [1].

По данным исследователей таких как, Книгина Г.И. и Сиверцев Г.Н., данные породы могут использоваться как заполнители для бетонов, в виде АМД в бетон, а также в качестве компонента композиционных вяжущих в сочетании с гипсом и известью, если содержание углистых примесей в них не превышает 5 % [2].

Производство добавки. Горный песок добывается на Кильдямском месторождении открытым способом. После доставки песка в лабораторию, происходит очистка от примесей и иных материалов. Производится предварительный помол песка вместе с добавлением суперпластификатора С-3 до

оптимальной удельной поверхности. Затем осуществляется совместное перемешивание всех компонентов вяжущего – процесс механохимической активации. Совместный помол производился на планетарной шаровой мельнице Retch PM-400. После распалубки образцы были помещены в гидрованну для набора прочности во влажной среде. Испытания проводились на образцах 28, 56 суточного возрасте.

Испытание образцов. Для исследования прочностных характеристик цемента были подобраны составы и изготовлены образцы-кубы 7х7х7 см. После предварительного твердения в стандартных условиях в течение 28 суток были проведены испытания.

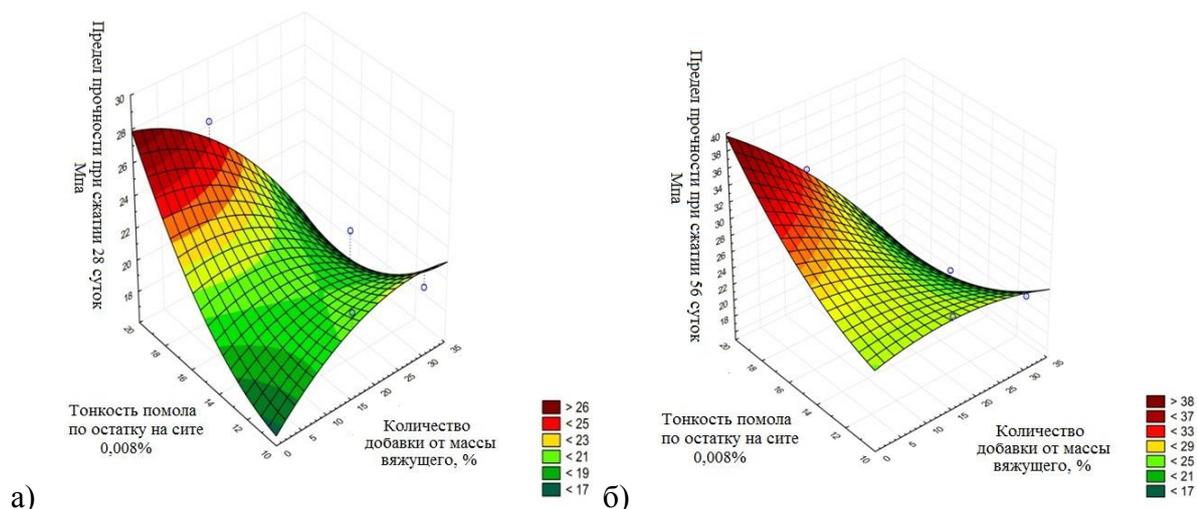


Рис. Испытание образцов кубов цементно-песчаного раствора с размерами 7×7×7 в возрасте: а) 28 суток; б) 56 суток

Поверхность отклика показывает (см. рис., а), что при содержании 15 % добавки в виде горного песка бетон имеет достаточно большую прочность, так как при добавлении большего количества проявляется недостаточное количество вяжущего вещества, что и сказывается на прочности. Смотря на ось тонкости помола – видим, что чем меньше остаток на сите, тем меньше тонкость помола и меньше прочность. Из этого делаем вывод, что чем грубее помол, тем выше прочность [3].

При 56 сутках (см. рис., б) это видно еще более явно, так как прочность возрастает значительно (выше 30 МПа, практически до 40 МПа). Анализ показывает, что тонкость помола портландцемента зависит от количества добавки и ее удельной поверхности. При этом повышение содержания добавки и уменьшение времени ее помола способствует увеличению удельной поверхности портландцемента, что можно объяснить повышенным содержанием горной песком с удельной поверхностью меньшим, чем у портландцемента.

Разработанная добавка не только улучшает свойства бетонов, но и отлично сказывается на экономических показателях. Экономия портландцемента в бетоне составляет до 20 %.

Список литературы

1. Бунин Б.И. Исследования строительных материалов ЯАССР. «Горелые породы Кильдямского месторождения как сырье для производства»..

2. Книгина Г.И. «Строительные материалы из горелых пород Кузбасса». Кемерово: Книжное издание, 1954.
3. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1979.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ

Саитов В.Е.

старший научный сотрудник отдела механизации, д-р техн. наук, доцент,
ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», Россия, г. Киров

Котюков А.Б.

соискатель ученой степени канд. техн. наук отдела механизации,
ФГБНУ «НИИСХ Северо-Востока», Россия, г. Киров

Одним из наиболее крупных потребителей воды является животноводство. Потребности животноводства в воде в десятки раз превышают потребности населения. В соответствии с этим в статье приведены результаты исследований по подбору наиболее эффективных материалов для очистки воды от различных загрязнений.

Ключевые слова: питьевая вода, водоисточники, качество воды, фильтры, материалы для очистки воды.

Одной из основных задач развития агропромышленного комплекса России на сегодняшний день является совершенствование животноводческой отрасли. Совершенствование данной отрасли позволит укрепить продовольственную независимость страны и ее экономику в целом [1].

Животноводство России имеет много недостатков, одним из которых является снижение поголовья коров за последние десятилетие. Одной из основных причин указанных недостатков в животноводстве является отсутствие эффективных систем очистки воды. Поэтому разработка эффективных фильтров из современных материалов для очистки воды от различных загрязнений на животноводческих комплексах имеет насущную задачу [2, 3].

Для установления наиболее экономически целесообразных материалов при создании модели фильтра для очистки воды методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) проведены исследования по определению электрического сопротивления различных материалов [4].

В качестве исследуемых материалов были взяты углеродный волокнистый сорбент (УВС) марки АНМ-3, активированная углеродная ткань (АУТ), волокнистый ионообменный нетканый материал (ВИОН), латунная сетка, медная фольга, черная копировальная бумага, бумага, пропитанная раствором поваренной соли NaCl, в сухом состоянии, наждачная бумага и стальной лист. Материалы УВС и АУТ брались в исследованиях в один, два и три слоя каждый. В ходе исследований у данных материалов были получены значения

величины удельного электрического сопротивления, представленные в таблице.

Таблица

Удельное электрическое сопротивление исследуемых материалов для модели фильтра методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА)

№ п.п.	Материал	Удельное электрическое сопротивление, ρ , Ом·см
1	УВС (1 слой)	5,998
2	УВС (2 слоя)	11,996
3	УВС (3 слоя)	17,994
4	АУТ (1 слой)	0,140
5	АУТ (2 слоя)	0,280
6	АУТ (3 слоя)	0,419
7	ВИОН	0,053
8	Латунная сетка	0,005
9	Медная фольга	0,000*
10	Черная копировальная бумага с глянцевой стороны	∞ *
11	Черная копировальная бумага со стороны бумажной основы (с внутренней стороны)	25,140
12	Бумага, пропитанная раствором NaCl; в сухом состоянии	22,119
13	Наждачная бумага	21,085
14	Стальной лист	0,000*

* - при значениях силы тока и напряжения, задействованных в эксперименте.

Из проведенных исследований следует, что черная копировальная бумага со стороны бумажной основы (с внутренней стороны) имеет наибольшее удельное электрическое сопротивление $\rho = 25,140$ Ом·см. Удельное электрическое сопротивление ρ бумаги, пропитанной раствором NaCl, немного ниже и составляет 22,119 Ом·см, а у наждачной бумаги $\rho = 21,085$ Ом·см.

Латунная сетка, медная фольга и стальной лист имеют минимальное удельное электрическое сопротивление. Однако при создании модели фильтра методом ЭГДА из этих материалов требуется много времени, что экономически не всегда бывает оправдано.

Материалы УВС и АУТ, используемые в один слой при создании моделей ЭГДА, имеют удельное электрическое сопротивление $\rho = 5,998$ и 0,140 Ом·см соответственно и удовлетворяют рекомендуемым пределам для величины ρ .

Результаты проведенных исследований подтвердили, что в качестве материала для создания моделей ЭГДА наиболее целесообразно применять предложенные материалы УВС и АУТ, так как данные материалы лучше других удовлетворяют предъявляемым к указанным моделям.

Таким образом, исходя из результатов данных исследований следует, что для создания моделей исследуемых фильтров для очистки воды наиболее подходят материалы: углеродный волокнистый сорбент (УВС) марки АНМ-3 и активированная углеродная ткань (АУТ).

Список литературы

1. Саитов В.Е. Повышение эффективности функционирования зерноочистительных машин путем совершенствования основных рабочих органов и пневмосистем с фракционной сепарацией: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Саитов Виктор Ефимович. – Чебоксары, 2014. – 40 с.
2. Саитов В.Е., Котюков А.Б. Санитарно-гигиенические требования к питьевой воде для животноводческих ферм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 6 (часть 5). – С. 830-833.
3. Саитов В.Е., Котюков А.Б. Способы и применяемые материалы для очистки воды на животноводческих комплексах // Научное обеспечение устойчивого развития АПК в современных условиях: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию Нижегородского НИИСХ. – Нижний Новгород: Дятловы горы, 2016. – С. 232-235.
4. Котюков А.Б. Применение материалов УВС и АУТ для создания моделей метода ЭГДА // Вестник Урал. гос. техн. ун-та – УГТУ. Строительство и образование: Сб. научн. тр. – Вып. 7. – Екатеринбург, 2004. – С.275-276.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ АНГОБА ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ЯКУТИИ

Слепцова Л.В.

магистрант кафедры производства строительных материалов изделий и конструкций, Инженерно-технический институт, ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, г. Якутск

Сутакова Э.М.

аспирант кафедры общей аналитической и физической химии, Институт естественных наук, ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, г. Якутск

Местников А.Е.

профессор кафедры производства строительных материалов изделий и конструкций, доктор технических наук, ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, г. Якутск

В статье рассматривается одно из наиболее востребованных архитектурно-отделочных и конструкционных материалов лицевой керамический кирпич, обладающий высокой экономичностью и декоративностью. Для Республики Саха (Якутия) организация производства облицовочных керамических материалов является актуальной проблемой, решение которой требует поиска и исследования соответствующего сырья, а также разработки состава шихты с последующим изучением эксплуатационных характеристик получаемой продукции.

Ключевые слова: керамический кирпич, лицевой кирпич, ангоб, разработка составов ангоба, декоративный, глазурь, известь, добавка барий хлор.

В лаборатории строительных материалов Северо-Восточного федерального университета проведена практическая работа, направленная на изу-

чение возможности получения керамического облицовочного материала на основе местного сырья, введение в шихту осветляющих добавок, а также для нанесения декоративного ангоба.

Для выбора наиболее подходящего сырья, было выполнено сравнительное исследование свойств глин двух месторождений – Санниковская и Намцырская. Их химический состава приведен в табл. В качестве добавки использовали цеолит Хонгуриноского месторождения, строительная воздушная известь и тонкомолотый бой стекла в разных процентных соотношениях по массе [1].

Таблица

Химический состав исследуемых глин

Оксиды, мас. %									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	TiO ₂	SO ₃	п.п.п
Суглинки Санниковского месторождения									
63,29	14,34	3,11	2,45	2,18	2,14	0,08	0,77	-	3,65
Суглинки Намцырского месторождения									
63,57	22,38	0,54	1,70	0,30	0,55	0,02	0,80	-	5,38

Исследованные пробы глин Санниковского месторождения содержат значительное количество красящего оксида железа, что обеспечивает красную окраску черепка при обжиге. По гранулометрическому составу глины отличаются незначительно и относятся к низкодисперсным. В состав шихты цеолит и тонкомолотый бой стекла ввели для обеспечения необходимого уровня спекания массы на основе суглинка с высоким содержанием низкодисперсных частиц, которые обеспечивают основной каркас материала, а CaO в виде гашеной извести-пушонки для придания более светлого оттенка кирпичу [2].

Приготовление керамической массы осуществлялось пластическим способом смешивая измельченные материалы с водой до получения теста с влажностью 20 %. Помол глины осуществлялся на сите №1, цеолит и тонкомолотый бой стекла на сите №014 с остатком не более 3 %. Сушка осуществлялась в лабораторной сушильной камере при 95°C. После сушки образцы обжигали в лабораторной электропечи с изотермической выдержкой 4ч при температуре 1000°C.

Для ликвидации высолов использовалась добавка хлористого бария в количестве 0,5 и 1 %. Наиболее эффективные результаты были получены с добавлением 0,5 %. Добавка 1% хлористого бария выявила фиолетовые пятна после обжига керамических изделий. Наличие высолов в изделиях не обнаружилось.

Ввод в шихту молотой гашеной извести отрицательно повлияла на прочность изделий при сжатии, однако положительно повлияла на декоративность изделия, придав слоновый оттенок ныне популярный у потребителей.

Для повышение декоративных свойств кирпича наносим ангоб. Этот материал характеризуется наличием декоративного слоя, в состав которого

входит белая глина с добавлением порошкообразного стекла и минеральных красителей. Помимо этих ингредиентов в состав ангоба (глиняной смеси) могут включаться кварцевый песок и мел. Если глазурованный кирпич обжигается два раза, то ангобированный материал только 1 раз подвергается этому процессу.

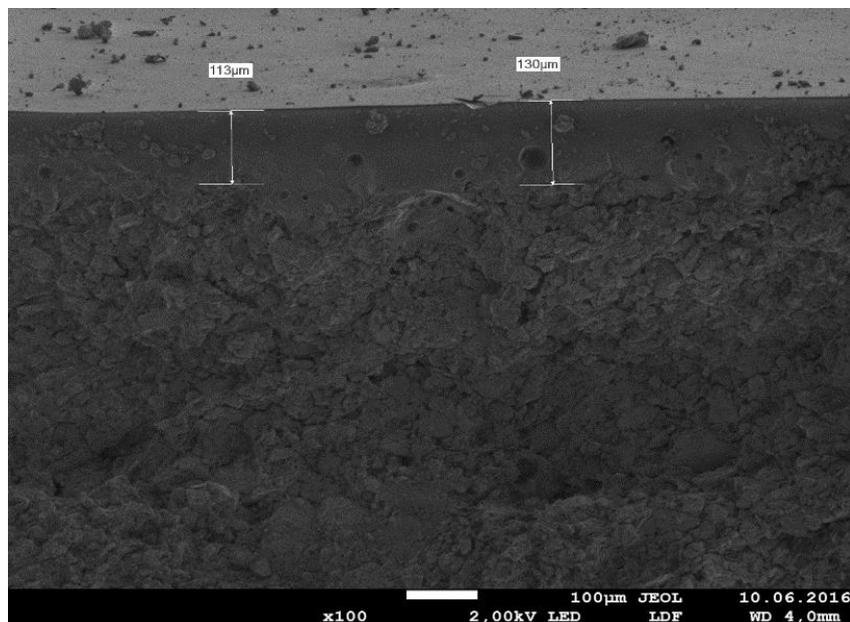


Рис. Толщина слоя нанесенного ангоба

Полученные результаты опытных испытаний, проведенные в научной лаборатории СВФУ, показали возможное получение качественных стеновых лицевых керамических изделий на основе местного суглинка и осветляющих минеральных добавок. Кроме того, необходимо продолжить работы по разработке составов глазурей и изучению глин других месторождений, по подбору корректирующих добавок в керамические массы, чтобы получить высококачественный лицевой керамический кирпич, отвечающий условиям ГОСТ 530-12.

Список литературы

1. Ашмарин А.Г., Власов А.С. Цеолитсодержащие глинистые породы как сырье для производства керамических стеновых материалов // Строит. материалы. 2005. № 2. С. 52-53.
2. Кара-Сал Б.К., Куулар Л.Э. Получение облицовочного кирпича на основе низкосортного суглинка и цеолитсодержащего песчаника // Строит. материалы. 2010. № 4. С. 38-39.

ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «FLIP – CHIP» ПРИ СБОРКЕ 3D БИС

Стоянов А.А.

аспирант кафедры «Полупроводниковая электроника и наноэлектроника», Воронежский государственный технический университет, Россия, г. Воронеж

Побединский В.В.

инженер-технолог 3 категории,
АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»,
Россия, г. Воронеж

Рогозин Н.В.

инженер-технолог 1 категории,
АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»,
Россия, г. Воронеж

Рембеза С.И.

заведующий кафедрой «Полупроводниковая электроника и наноэлектроника», д-р физ.-мат. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, Россия, г. Воронеж

Проанализированы особенности монтажа кристаллов с использованием технологии «flip-chip». Предложен новый способ изоляции при монтаже перевернутых кристаллов.

Ключевые слова: шариковые выводы, технология «flip-chip», герметизация кристалла.

Присоединение перевернутых кристаллов с объемными выводами к основаниям корпусов или подложек (технология «flip-chip») получило широкое распространение в современной микроэлектронике. Основу метода перевернутого кристалла составляют столбиковые выводы, располагаемые на металлизированных контактных площадках кристаллов/плат [1].

Кристаллы монтируют на основание корпусов или плат планарной стороной. При этом рисунок их контактных площадок является зеркальным отображением расположения выводов.

Надежность полупроводниковых изделий, изготовленных с использованием технологии «flip-chip», в значительной степени зависит от качества материала, нанесенного под кристалл между его лицевой поверхностью и платой.

Одним из элементов технологии «flip-chip» является обеспечение пространства между кристаллом и платой. На последней стадии монтажа данное пространство под кристаллом обычно заполняется «заливкой» – непроводящим адгезивом, соединяющим всю поверхность кристалла с платой.

«Заливка» выполняет функцию защиты столбиковых выводов от влаги и прочих компонентов атмосферы, обеспечивает дополнительную механиче-

скую прочность. «Заливка» обеспечивает повышение усталостной прочности столбикового вывода.

«Заливка» должна надежно соединять подготовленные поверхности кристалла и платы, она также должна быть совместима с флюсом. Перед «заливкой» в ряде случаев предусмотрена очистка – удаление остатков флюса. Флюсы не требующие отмывки совместимы с «заливками».

Предлагается новый способ изоляции при монтаже перевернутых кристаллов (метод «flip-chip»). Схема данного способа сборки представлена на рисунке.

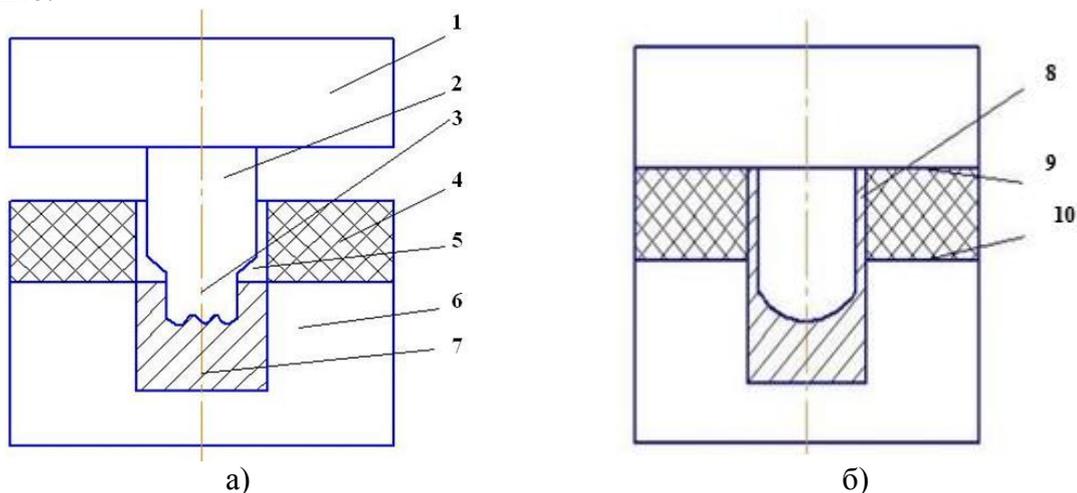


Рис. Схема способа изоляции при монтаже перевернутых кристаллов (метод «flip-chip»): а) схема сборки кристалла с подложкой перед пайкой; б) схема паяного соединения кристалла с подложкой. 1 – кристалл; 2 – контактный столбик; 3 – участок обрыва проволоки; 4 – клеящая лента; 5 – отверстия в ленте; 6 – подложка; 7 – припой; 8 – паяное соединение; 9 – поверхность кристалла; 10 – поверхность подложки

На сборку поступают готовые кристаллы 1 с контактными столбиками 2, например, из золота на лицевой поверхности кристалла. Золотые столбики формируют на контактных площадках кристаллов в составе пластины из Si при помощи одной из модификаций метода термокомпрессионной сварки «шариком», применяющегося при формировании проволочного соединения из золота встык.

При традиционном методе создания контактных столбиков на кристалле из золотой проволоки применяется «чеканка» – принудительная деформация участка проволоки в месте отрыва 3 с применением механического давления. Данная операция необходима для создания плоской поверхности и выравнивания высоты столбиков.

В предлагаемом способе сборки полупроводникового прибора методом «flip-chip» данная операция не требуется. Следующее отличие заключается в том, что на подложке 6 отсутствуют контактные площадки из пленочной металлизации.

На подложке вместо контактного столбика сформировано глухое углубление 7, заполненное припоем. Глубина канавки на подложке определяется диаметром контактного столбика на кристалле 2, диаметром отверстия в клеящей ленте 4 и зазором между столбиком и отверстием в ленте. Между

кристаллом и подложкой размещают клеящую ленту 4, имеющую отверстия, рисунок которых является зеркальным отображением расположения столбиков на кристалле.

При сборке столбиковые выводы кристалла через отверстия в ленте совмещают с припоем на подложке. После сборки прибор помещают на подставку в вакуумной камере, нагревают до температуры плавления припоя и одновременно прикладывают внешнее давление на кристалл. При нагреве до температуры пайки и соответствующем давлении на кристалл припой расплавляется, столбик кристалла углубляется в отверстие. При этом происходит смачивание припоем всей поверхности столбика. Часть припоя вытесняется из отверстия, в результате этого происходит заполнение зазора между столбиком и отверстием в клеящей ленте.

Так как толщина ленты соизмерима с расстоянием между кристаллом и подложкой, то под давлением кристалла и при температуре пайки происходит плотное соединение ленты с поверхностями кристалла и подложки. Данный фактор исключает операцию заливки пространства между кристаллом и подложкой.

В случае использования золота в качестве материала контактных столбиков, нужно обратить внимание на одно обстоятельство: золото растворяется при пайке практически во всех припоях, используемых при сборке изделий микроэлектроники. В производстве гибридных ИС для монтажа золотой проволокой диаметром 40 мкм применяют припои ПОС61, ПОС61М, ПСрОСЗ-58, ПОИ50 и ПОСК50-18. При пайке золотой проволоки к контактными площадкам ГИС вышеуказанными припоями наблюдаются дефекты паяных контактов как на стадии производства, так и на этапе эксплуатации. Исследования показали, что отказы на стадии монтажа связаны с растворением золотой проволоки в жидкой фазе припоя (при пайке), а на этапе эксплуатации – в твердой фазе (при воздействии повышенных температур) экспериментально установлено, что наименьшей растворимостью обладает золотая проволока в контакте с припоем ПСрОСЗ-58 [2-4].

Список литературы

1. Боднар, Д. М. Современные технологии изготовления чипов и сборки в полупроводниковой микроэлектронике / Д. М. Боднар // Технологии в электронной промышленности. – 2011. – № 7. – С. 52-60.
2. Зенин, В.В. Пайка золотой микропроволоки с контактными площадками ГИС и микросборок низкотемпературными припоями / В.В. Зенин // Твердотельная электроника и микроэлектроника: Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж. – 1997. – С. 88-94.
3. Ainsworth, P.A. Soft soldering gold coated surfaces, Techniques for making reliable joints / P.A. Ainsworth // Gold Bull. – 1971. – № 3. – P.47-50.
4. Зенин, В. В. Влияние толщины покрытия ОС-61 на структуру и прочность микросоединений при монтаже золотой проволоки / В. В. Зенин, С. В. Батаев, В. М. Ефимов // Производственно-технический опыт. – 1986. – № 6. – С.45-47.

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Суровцева О.А.

доцент кафедры «Управление качеством», канд. техн. наук,
Донской государственной технической университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье изложены научно обоснованные разработки в области интегрированных систем для обувного производства.

Ключевые слова: материальное нормирование, нечеткие модели знаний, планирование и диспетчеризация, трудовое нормирование, конструирование обуви, многовариантность и учет статуса технологических процессов, расчет технологических и экономических параметров, базы таблиц и алгоритмов, автоматизация.

В настоящее время использование автоматизированного проектирования является одним из актуальных направлений совершенствования подготовительных этапов производства, оно существенно влияет на качество и эффективность проектных решений. На данном этапе пока еще автоматизированы только отдельные этапы конструкторско-технологической подготовки производства обуви. Интегрированных систем решающие задачи всего жизненного цикла производства обуви не существует. Автоматизированная интегрированная система позволит полностью автоматизирует процесс технологической подготовки производства, включая проектирование технологий, технологические и экономические расчеты, получение документации и отчетов на обувном предприятии [1, с. 99-100]. Система предполагает использование базы конструкторской документации (КД) для ведения базы состава изделий и спецификаций предприятия и изменений в КД [2, с. 117-118]. Система будет иметь в составе ГОСТ-ы на оснащение, инструменты и материалы необходимые для проектирования обуви. Система позволит автоматизировать проектирование маршрутной и операционной технологии, единичных, типовых, групповых технологических процессов: заготовительные процессы, конструирование обуви, сборка верха и низа обуви, услуги, вспомогательные операции и т.д. По мере наполнения баз данных система обретает возможность проектирования технологии изготовления совершенно новых изделий, которых еще не было в производстве позволит переносить субъективные знания каждого технолога в базу компьютера [3, с. 32-34]. Система позволяет аккумулировать опыт наиболее квалифицированных специалистов предприятия, использовать и тиражировать его, обучать на его основе молодых специалистов. Причем для наполнения системы технологическими знаниями вовсе необязательно сажать за компьютер технологов преклонного возраста, этот процесс может быть выполнен в виде общения технологов, работающих за компьютерами со специалистами, не желающими осваивать новую технику, но обладающими ценными знаниями и опытом [4, с. 65-67]. Основные воз-

возможности интегрированной системы для обувных предприятий: управление составом изделий, спецификациями, базой материалов; автоматическое проектирование, полуавтоматическое и диалоговое проектирование ТП изготовления и сборки изделий любых типов; параметризация ТП, ведение архивов ТП, просмотр и редактирование ТП, печать карт, формирование в MS Word полного комплекта технологических документов стандартных и произвольных форм с операционными эскизами из любых САПР; база данных по ТП и оснащению по ГОСТ; ввод табличных данных, логики и формул без участия программистов; поставляется для СУБД MSDE, MS SQL Server, Express; чтения данных из конструкторских САПР; ускорит процесс подготовки производства, решать любые технологические, экономические задачи, и даже кадровые вопросы.

Из всего этого следует, что за последние годы многие российские обувные организации нуждаются в создании интегрированной системы с целью активного развития на потребительском рынке и повышения уровня конкурентоспособности [5, с. 120-122]. Разработка и внедрение интегрированной системы на обувном предприятии – сложный инновационный проект, направленный на повышение эффективности общего менеджмента организации [6, с. 137-139].

Список литературы

1. Суровцева О.А. Автоматизация процесса работы с поставщиками на аптечных предприятиях / О.А. Суровцева, Н.Ю. Федорова // Международный научный журнал «Символ науки» (23 января 2016 г.) Научно-практическая конференция, сб. науч. трудов – Уфа, 2016, Ч. 2, №10. С. 99-100.

2. Суровцева О.А. Адаптация САПТ ТП «ТехноПро» для автоматизированного проектирования технологического процесса производства обуви / О.А. Суровцева // XI Международная заочная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития науки и технологии» (29 февраля 2016г.), сборник научных трудов. – Белгород, 2016, № 2, С. 117-118.

3. Суровцева О.А. Автоматизация проектирования технологического процесса сборки обуви литьевого метода крепления / О.А. Суровцева, Т.В. Тернавская // Сборник научных трудов MSWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012». Выпуск 2. Том 6. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 32-34.

4. Суровцева О.А. Решение задач технологической подготовки производства обуви с использованием потенциала машиностроительной САПР ТП / О.А. Суровцева // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Наука сегодня: проблемы и перспективы развития» (25 ноября 2015 г.). – Вологда, 2015, Ч.1, С. 65-67.

5. Суровцева О.А. 7-ая Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития науки и технологии» (31 октября 2015 г.), сборник научных трудов. – Белгород 2015, Ч.3, С. 120-122.

6. Суровцева О.А. Адаптация машиностроительной САПР ТП для улучшения качества технологической подготовки производства / О.А. Суровцева // Современные тенденции развития науки и технологий. IV Междунар. Научно-практич. конференция, сб. науч. трудов (31 июля 2015). – Белгород, 2015, Ч.1, С. 137-139.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ АДАПТАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ОРГАНИЗМА

Суятинов С.И.

доцент кафедры ИУ1, канд. техн. наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Россия, г. Москва

В статье предлагается для оценки функционального состояния организма использовать биосигналы системы «сердце-сосуды-легкие». Показано, что вычисление показателей взаимосвязей в моделях исследуемых подсистем позволяет оценить адаптационные способности организма. Приведены примеры моделирования.

Ключевые слова: функциональное состояние, сердечно-сосудистая система, биосигналы, модельный подход

С позиций системного подхода к исследованию сложных систем важно из общей организации биосистемы выделить контур, отражающий функциональное состояние всего организма, определить модели управляющих и управляемых элементов, описать взаимосвязи между ними.

Здесь возникают следующие задачи: 1) выбор биосистемы, деятельность которой отражает функциональное состояние всего организма; 2) разработка структуры (структурная идентификация) моделей входящих в нее элементов; 3) идентификация параметров этих моделей.

Поскольку сердечно-сосудистая система выполняет только функции транспорта кислорода, то логично рассматривать для оценки функционального состояния организма все систему кислородного обеспечения организма. Кратко назовем эту систему «сердце-сосуды-легкие».

Система «сердце-сосуды-легкие» с ее многоуровневой регуляцией представляет собой функциональную систему, конечным результатом деятельности которой является обеспечение заданного уровня функционирования целостного организма.

Оценка и прогнозирование функционального состояния целостного организма по данным исследования системы «сердце-сосуды-легкие» основывается на следующих положениях: 1) изменения динамических процессов в биосистеме «сердце-сосуды-легкие» возникают раньше, чем соответствующие функциональные нарушения; 2) изменения параметров взаимосвязей в механизме регуляции рассматриваемой биосистемы происходят раньше, чем появляются патологические изменения; 3) исследование процессов адаптации, временной организации и координации биофизических процессов в системе «сердце-сосуды-легкие» позволяет выявлять самые начальные изменения в управляющем звене целостного организма.

Доступность системы электрофизиологических биосигналов «сердце-сосуды-легкие» для измерения в сочетании с модельным представлением биосигналов позволяет выполнять скрининг-диагностику функционального состояния организма и решать задачи прогнозирования [5]. Кроме того, вы-

числение показателей взаимосвязей в моделях исследуемых подсистем на основе зарегистрированных биосигналов позволяет оценить адаптационные способности организма [2].

Особенность рассматриваемой системы заключается в том, что все ее элементы совершают механические движения и, следовательно, подчиняются законам механики. Основываясь на концепции иерархии упрощенных моделей и мягком моделировании, можно построить приближенные функционально – структурные модели, отражающие основные особенности динамики элементов [1, 4]. В качестве исходной структуры модели предлагается выбирать наиболее адекватную из ряда базовых моделей, описывающих нелинейные колебания, или их модификации.

Параметрическая идентификация выбранных моделей осуществляется по совокупности зарегистрированных биосигналов. В качестве исходных могут использоваться, например, ЭКГ, кинетокардиограмма, сфигмограмма сонной артерии, пневмотахограмма, спирограмма и др. Это те биосигналы, структура которых определяется параметрами генерирующих их элементов рассматриваемой биосистемы.

Методика построения модельных уравнений сложных биосистем приведена в работах [3, 5]. Здесь рассмотрим упрощенный вариант ее реализации для системы «сердце – сосуды».

Пусть имеются синхронно регистрируемые биосигналы перемещений стенки кровеносного сосуда x и электрической активности сердца (электрокардиосигнала) e . Тогда модель пульсовой активности может быть представлена в виде уравнения Ван-дер-Поля – Рэля:

$$\ddot{x} + [\varepsilon_1(x^2 - r_0^2) + \varepsilon_2(\dot{x}^2 - w_0^2 r_0^2)]\dot{x} + ax = F_{\text{связи}}.$$

где $w = \sqrt{a}$ - частота основного гармонического колебания стенки сосуда; $F_{\text{связи}}$ – функция, описывающая воздействие сердечной активности на динамику стенки сосуда; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, w_0, r_0$ – неизвестные параметры, которые находятся на этапе параметрической идентификации модели.

Исходя из законов колебаний связанных систем, допустим, что эмпирическая функция связи имеет вид $F_{\text{связи}} = (\dot{x} - \dot{e})[\alpha + \beta(x - e)^2]$. Значения $\ddot{x}(t), \dot{x}(t), x(t), \dot{e}(t), e(t)$ определяются по экспериментально полученным данным. Значения параметров α и β функции связи могут рассматриваться как дополнительный диагностический критерий при оценке адаптационных способностей организма.

Диагностические возможности предложенного метода идентификации функциональных связей в сложных биосистемах исследовались на примере идентификации двух функциональных состояний человека-оператора: спокойного и напряженного. На рис. 1 и 2 показаны сигналы пульсовой активности и электрической активности сердца в покое (сплошная линия) и при психоэмоциональном напряжении (пунктирная линия), где видно, что помимо увеличения частоты в определенной степени изменяется форма кривых.

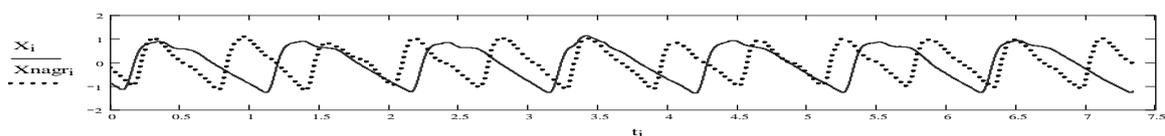


Рис. 1. Пульсовые сигналы в покое и при нагрузке

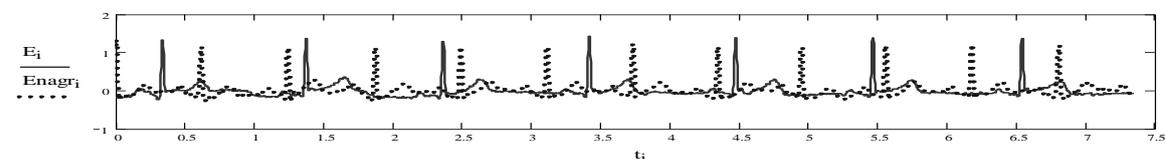


Рис. 2. Сигналы электрической активности сердца в покое и при нагрузке

Отмечено, что при нагрузке существенно меняются значения параметров a , α и β . Если для состояния покоя в рассматриваемом эксперименте были вычислены следующие значения: $a = 37,18$; $\alpha = -9,52$ и $\beta = 6,51$, то при нагрузке эти значения соответственно приняли значения $95,5$; $-8,31$ и $1,07$. Предложенный способ идентификации позволил различать эти два состояния.

Отметим, что дальнейшие исследования должны быть связаны с разработкой функционально-структурных моделей других подсистем, созданием новых моделей взаимосвязей и формированием наборов параметров функции связи для оценки адаптационных способностей организма.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 16-07-00878).

Список литературы

1. Булдакова Т.И., Суятинов С.И. Идентификация и исследование сложных систем. Саратов: СГТУ, 2009. 108 с.
2. Выявление групп риска у людей с высоким уровнем холестерина: статистический и модельный подходы / Т.И. Булдакова, В.Б. Лифшиц, С.И. Суятинов // Информационные технологии моделирования и управления. 2008. №4 (47). С. 363-368.
3. Информационно-измерительный комплекс совместной регистрации и обработки биосигналов/ Т.И. Булдакова, А.В. Коблов, С.И. Суятинов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 6. С. 41-46.
4. Методика идентификации сложных систем / А.В. Коблов, А.В. Ланцберг, Н.С. Самочетова, С.И. Суятинов // Вестник СГТУ. 2007. Т. 4. №1 (28). С. 31-38.
5. Программно-аналитический комплекс модельной обработки биосигналов / Т.И. Булдакова, В.И. Гриднев, К.И. Кириллов и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 1. С. 71-77.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ПОДБОРА ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН¹

Такташев Р.Н.

и.о. заведующего отделением распределенной генерации и ЖКХ, к.т.н.,
Открытое Акционерное Общество «Всероссийский дважды ордена трудового
красного знамени теплотехнический научно-исследовательский институт»,
Россия, г. Москва

Иванова Т.С.

магистрант кафедры промышленных теплоэнергетических систем,
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, г. Москва

Кириллова Л.П.

магистрант кафедры теоретических основ теплотехники им. В.П. Вукаловича,
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, г. Москва

Васильева И.Л.

доцент кафедры электроэнергетики и электротехники,
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ»,
Россия, г. Волжский

В статье рассматривается процесс конденсации пара хладагента R407C в паяных пластинчатых конденсаторах парокомпрессионных холодильных машин, работающих в составе объектов малой генерации, осуществляющих централизованное автономное холодоснабжение группы потребителей. Исследование проводится применительно к различным типам гофрированных пластин с V-образными профилями гофров, угол раскрытия ф которых составляет 600 и 1200 в предположении, что конденсация происходит на всей поверхности пластин. В результате проведенных исследований на основе полуэмпирических расчетных зависимостей для расчета процессов теплообмена и падения давления при конденсации паров хладагента R407C получены методики расчета и подбора пластинчатых конденсаторов.

Ключевые слова: пластинчатые конденсаторы, процесс конденсации пара хладагента, парокомпрессионные холодильные машины.

1. Введение

В последние годы проводится замена устаревшего оборудования холодильных машин промышленных предприятий и технологических систем. Используемые ранее кожухотрубные конденсаторы выводятся из эксплуатации, а на их место устанавливаются, как правило, полуразборные или паяные пластинчатые теплообменные аппараты. Пластинчатые теплообменные аппараты отличаются более высокими, чем кожухотрубные с гладкими трубками, коэффициентами теплопередачи и существенно меньшими габаритами, что

¹ Исследование финансируется в соответствии с условиями гранта Президента РФ (Договор №14.129.15.4994-МК).

удобно при проектировании и эксплуатации. Для изготовления пластин используются специальные нержавеющие стали и сплавы (в основном сталь *AISI316*), обладающие сравнительно высокой теплопроводностью и прочностью. Пластины имеют специальный профиль, который позволяет значительно турбулизовать поток, что, в конечном итоге, приводит к уменьшению отложений на теплопередающих стенках, однако увеличивает гидравлическое сопротивление тракта и повышенный расход электроэнергии на прокачку теплоносителя.

Основной трудностью подбора, расчета и дальнейшего совершенствования пластинчатых конденсаторов фреонов связана с тем, что их подбор и расчет осуществляются по компьютерным программам заводоизготовителей, при написании которых используются частные теплогидравлические характеристики, полученные по результатам натурных испытаний образцов каждого номера из типоразмерного ряда. При этом изготовители не предоставляют эксплуатирующей организации полной информации ни о геометрических характеристиках пластин и образованных ими каналов, ни о расчетных зависимостях по теплообмену и гидравлическим сопротивлениям.

В то же время при изменении нагрузки на систему эксплуатирующая организация добавляет или снимает определенное число пластин. Это приводит к созданию в теплообменнике нового теплогидравлического режима. Отсутствие расчетных зависимостей не позволяет специалистам эксплуатирующей организации произвести пересчет характеристик.

Получение обобщенных теплогидравлических характеристик пластинчатых теплообменников и разработка на их основе методик расчета и подбора представляется весьма актуальной и полезной с научной и практической точек зрения задачей. Это позволит сделать более универсальными методы их расчета, облегчить их совершенствование, глубже изучить процессы, происходящие в них.

Как отмечалось в [2], значительная часть холода производится с помощью парокомпрессионных холодильных машин, конструктивно состоящих из компрессора, конденсатора, дросселя и испарителя.

В данной работе рассматриваются паяные пластинчатые конденсаторы холодильных машин. Паяный пластинчатый конденсатор представляет собой сварной аппарат, каналы для движения рабочих сред которого образованы гофрированными пластинами из нержавеющей стали. Каналы составляются путем сварки двух смежных пластин по боковым образующим и присоединения их к соответствующим коллекторам. При этом направление гофр двух соседних пластин различается на 180° . Каналы для течения среды образуются двумя соседними парами пластин. Поверхность теплообмена образуется из отдельных гофрированных пластин, а каналы для рабочей среды имеют щелевидную переменную форму поперечного сечения в направлении потока с гидравлическим диаметром менее 6 мм. Интенсификации теплообмена также способствует ярко выраженная турбулентность.

В работе [2] получены обобщенные критериальные зависимости по теплообмену при конденсации паров фреона R407C для различных типов

гофрированных пластин с V-образными профилями гофров, угол раскрытия φ которых составляет 60° и 120° (рисунок 1). При угле раскрытия гофров $\varphi = 60^\circ$ продольный шаг гофров $S_1 = 26$ мм, шаг по нормали $S_H = 12$ мм. При $\varphi = 120^\circ$ – $S_1 = 10$ мм, $S_H = 9$ мм. Высота гофра $h = 3$ мм. Толщина пластин $\delta = 0,5$ мм. Геометрические характеристики пластин и образованных ими каналов представлены в таблице 1.

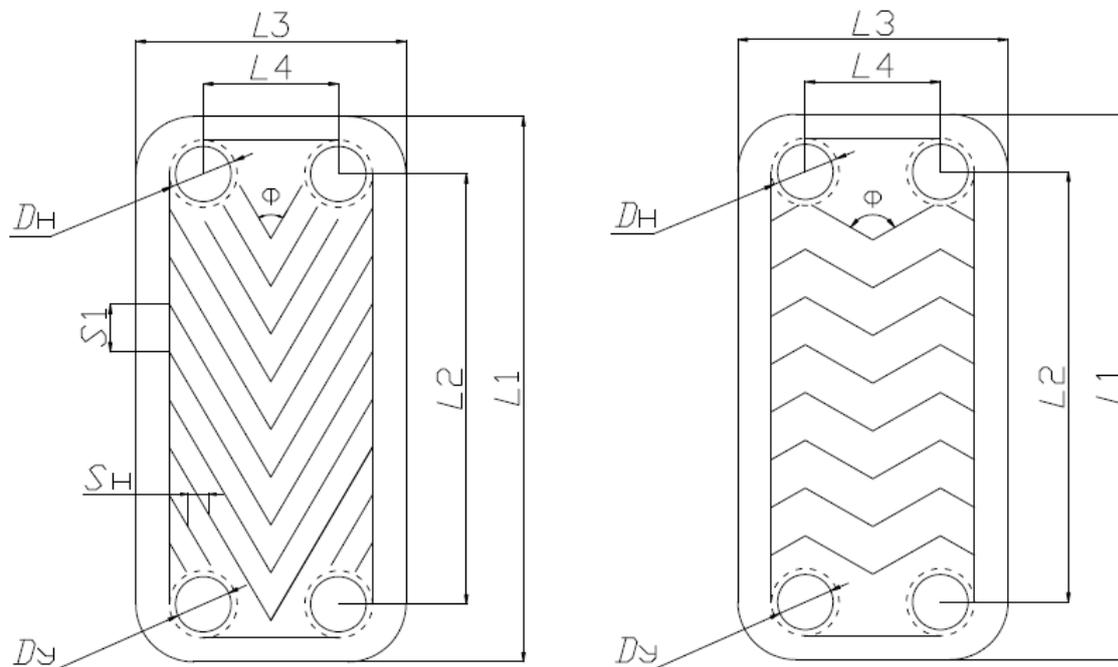


Рис. 1. Основные геометрические характеристики пластин

Таблица 1

Геометрические параметры пластин*

Тип	D_v , мм	F_0 , м ²	L_2 , мм	L_4 , мм
1	20	0,024	40	278
2	20	0,033	50	250
3	100	0,0347	239	862
4	25	0,036	65	242
5	50	0,147	150	520
6	25	0,073	65	446

* $d = 0,00465$ м при $\varphi = 60^\circ$, $d = 0,0487$ м при $\varphi = 120^\circ$ и $d = 0,00476$ м. для каналов, образованных пластинами с углами наклона гофр $\varphi = 60^\circ$ и $\varphi = 120^\circ$

Исходные данные для расчета включали:

- вид нагреваемого теплоносителя;
- расход нагреваемого теплоносителя, кг/с;
- начальная и конечная температуры нагреваемого теплоносителя, $^\circ\text{C}$;
- допустимые потери давления, кПа;
- температура пара, $^\circ\text{C}$;
- типоразмер пластины;
- материал пластины;
- максимальное давление теплоносителей, МПа;
- максимальная температура теплоносителей, $^\circ\text{C}$.

Для всех расчетов были установлены следующие условия:

- тип пара – фреон R407C;
- тип нагреваемого теплоносителя – вода;
- допустимые потери давления – 50 кПа;
- материал пластины – нержавеющая сталь *AISI 316*;
- максимальное давление теплоносителей – 2,5 МПа;
- максимальная температура теплоносителей – 150 °С.

Исследование выполнялось в предположении, что пар насыщенный, конденсация происходит на всей длине пластины (конденсат не переохлаждается), тепловые потери в окружающую среду отсутствуют. Температура пара фреона на входе в конденсатор задавалась в интервале от 45 до 70 °С. Тепловая мощность аппарата варьировалась путем изменения расхода нагреваемого теплоносителя и его начальной и конечной температуры. Рассматривались только одноходовые конденсаторы.

В алгоритм заложены зависимости для учета изменения теплофизических свойств теплоносителей от температуры:

фреона R407C:

- плотность конденсата и пара:

$$\rho_k = -0,0007t^3 + 0,0413t^2 - 4,7477t + 1240,2;$$

$$\rho_n = 0,0006t^3 - 0,0343t^2 + 1,6058t + 16,374;$$

- удельная энтальпия конденсата и пара:

$$h_k = 0,0057t^2 + 1,2404t + 201,26;$$

$$h_n = -2 \cdot 10^{-6} \cdot t + 0,0002t^3 - 0,0104t^2 + 0,5891t + 409,31;$$

- удельная теплоемкость конденсата и пара:

$$c_{pk} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot t^6 - 10^{-7} \cdot t^5 + 8 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 0,003t^3 + 0,0047t^2 - 0,0225t + 1,4304;$$

$$c_{pn} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot t^6 - 8 \cdot 10^{-8} \cdot t^5 + 6 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 0,0002t^3 + 0,0036t^2 - 0,0143t + 0,9675;$$

- теплопроводность конденсата и пара:

$$\lambda_k = -0,005t + 0,0958;$$

$$\lambda_n = 2 \cdot 10^{-9} \cdot t^4 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 9 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot t + 0,0123;$$

- динамическая вязкость конденсата и пара:

$$\mu_k = 0,0055t^2 - 2,2598t + 208,58;$$

$$\mu_n = 5 \cdot 10^{-7} \cdot t^4 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 + 0,0022t^2 + 0,0111t + 11,323;$$

- число Прандтля конденсата и пара:

$$Pr_k = 4 \cdot 10^{-10} \cdot t^6 - 7 \cdot 10^{-8} \cdot t^5 + 6 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 0,0002t^3 + 0,0034t^2 - 0,0329t + 3,1104;$$

$$Pr_n = 2 \cdot 10^{-10} \cdot t^6 - 4 \cdot 10^{-8} \cdot t^5 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 + 0,0015t^2 - 0,0061t + 0,8989;$$

- коэффициент поверхностного натяжения конденсата и пара:

$$\delta_k = 4 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 - 0,0002t + 0,0107;$$

$$\delta_n = 3 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 - 0,0002t + 0,0111;$$

ВОДЫ:

- коэффициент поверхностного натяжения σ_k , Н/м

$$\sigma_k = 0,0797 - 0,0002 \cdot t_{11};$$

- плотность воды ρ_v , кг/м³

$$\rho_v = \frac{997}{0,99534 + 0,466 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{2} \cdot (t_{21} - t_{22})};$$

- теплоемкость воды c_{pv} , кДж/(кг·°С)

$$c_{pv} = 4,20511 - 0,00136578 \cdot \frac{1}{2} \cdot (t_{21} + t_{22}) + \\ + 0,152341 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{4} \cdot (t_{21} + t_{22})^2;$$

- теплопроводность воды λ_v , Вт/(м·°С)

$$\lambda_v = 0,5678 - 0,0017 \cdot \frac{1}{2} \cdot (t_{21} + t_{22}) - 6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{4} \cdot (t_{21} + t_{22})^2;$$

- динамическая вязкость воды μ_v , Па·с

$$\mu_v = \rho_v \cdot 10^{-6} \left(\exp \left(\ln \left(\frac{1}{2} \cdot (t_{21} + t_{22}) + 273 \right) \right) - 0,87 \right);$$

В [3] проведены аналогичные расчеты для систем «водяной пар – вода». В [2] подробно описан алгоритм получения обобщенных зависимостей по теплообмену и гидравлическому сопротивлению. Вкратце этот алгоритм представлен ниже.

С помощью программ были выполнены поверочные расчеты пластинчатых паяных конденсаторов фреонов. В результате для всех теплообменников были определены тепловые мощности, расходы пара фреона, конечные температуры воды, средние температурные напоры и коэффициенты теплопередачи конденсаторов. Далее с помощью зависимостей по конвективному теплообмену при вынужденном течении теплоносителей в каналах таких теплообменников были вычислены коэффициенты теплоотдачи для воды

$$\alpha_2 = A_3 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot Re_2^n \cdot Pr_2^{0,4}}{d};$$

разность температур пара и поверхности теплообмена

$$\Delta t_1 = \Delta t_{л} - \frac{Q}{F} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + 2 \cdot R_{отл} \right);$$

и определены коэффициенты теплоотдачи конденсирующего пара

$$\alpha_1 = \frac{1}{\frac{1}{\kappa} - \frac{1}{\alpha_2} - \frac{\delta}{\lambda} - 2 \cdot R_{\text{отл}}};$$

В [3] определены факторы, влияющие на интенсивность теплообмена: числа Рейнольдса Re_k , Прандтля Pr_k , Фруда Fr_k , Вебера We_k , Галилея Ga пленки конденсата, фазового перехода K , а также параметр для учета влияния отношения плотностей пара и конденсата $((\rho_k / \rho_n)^{0,5} + 1)$. Особенностью процесса конденсации движущегося пара является расслоение потока: в окрестности продольной оси канала движется пар или (при более высоких скоростях) парокапельная смесь, на стенках – конденсат. Т.е. имеет место дисперсно-кольцевой режим течения, наличие или отсутствие которого напрямую определяется числом Кутателадзе Ku , значения которого в исследованных режимах составляли от 3,72 до 27,14.

При обобщении результатов расчета теплообмена в качестве определяющего геометрического фактора потребовалось ввести отношение $2F_0/f_0$.

Поэтому обобщенная зависимость по теплообмену при конденсации пара в профилированных каналах имеет вид:

$$Nu_k = A_k \cdot Re^n \cdot \kappa^{m_k} \cdot Ku^{n_1} \cdot We^{n_2} \cdot Fr^{n_3} \cdot Ga^{n_4} \cdot \left(\left(\frac{\rho_k}{\rho_n}\right)^{0,5} + 1\right)^{l_k} \cdot \left(\frac{2F_0}{f_0}\right)^b \cdot Pr_k^{0,4};$$

Анализ полученных данных показал малое влияние чисел Фруда и Вебера. Анализ числа Кутателадзе показал существование в каналах дисперсно-кольцевого режима течения [3]. Однако его влияние на процесс теплообмена не существенно.

Окончательно результаты расчета теплообмена при конденсации пара были представлены в виде зависимости

$$Nu_k = A_k \cdot Re_k^{n_k} \cdot \left(\frac{2F_0}{f_0}\right)^b \cdot \kappa^{m_k} \cdot \left(\left(\frac{\rho_k}{\rho_n}\right)^{0,5} + 1\right)^{l_k} \cdot Pr_k^{0,4} \cdot X_{t_0};$$

Стоит отметить, что процесс конденсации сильно зависит от температур нагреваемой среды. Поэтому обобщение проведено индивидуально для нескольких значений температур входа и выхода охлаждающей среды. Значения коэффициента пропорциональности A_k для каждого типоразмера пластин приведены в таблице 2. Значения показателей степеней при выбранных критериях для каждой компоновки пластин ($\varphi = 60^\circ$, $\varphi = 120^\circ$ и смешанной компоновке) постоянны. В таблице 2 также приведены исследованные диапазоны влияющих факторов.

Теплофизические свойства конденсата при расчете Nu_k , Re_k , K_u и K принимались по температуре насыщения, которая составляла 125-150°C. Число Прандтля изменялось от 1,208 до 1,405. Максимальное переохлаждение конденсата при заданных входных условиях не превышало 24,3°C.

Средняя скорость нагреваемой воды была рассчитана по уравнению неразрывности и составила от 0,2 до 1,2 м/с. В качестве характерного размера использован гидравлический диаметр канала d .

Число Рейнольдса при вынужденном течении пленки конденсата под действием сил трения на границе раздела фаз рассчитывалось как

$$Re_k = \frac{Q \cdot L_p}{F \cdot (h_{п} - c_{pк} \cdot t_k) \cdot \mu_k};$$

Таблица 2

Основные расчетные данные						
№ пластины*	A_k	m_k	l_k	b	n	$\delta Nu_k, \%$
$\varphi = 60^0$						
3						16,9
5	0,0527	-0,068	0,0578	0,1	0,9	19,7
6						7,8
$\varphi = 120^0$						
1						16,9
2						12,0
3	11,43	0,4	-0,35	-0,55	0,8	19,1
4						13,7
5						19,5
6						8,73
$\varphi = 60^0$ и $\varphi = 120^0$						
3						13,3
5	0,07	-0,078	-0,16	0,22	0,8	12,0
6						18,2

2. Результаты и обсуждение

Алгоритм конструктивного теплового расчета основан на методе среднего температурного напора. Алгоритм поверочного теплового расчета – на методе эффективности, позволяющем сократить количество итераций. Ниже приведены методики расчета и подбора пластинчатых конденсаторов систем холодоснабжения.

2.1. Тепловой конструктивный расчет

Исходными данными для конструктивного расчета являются:

- температура пара на входе к подогревателю t_{11} ;
- расход воды G_2 ;
- начальная t_{21} и конечная t_{22} температуры воды.

Дополнительные условия:

- конденсация пара происходит на всей поверхности теплообмена, конденсат не переохлаждается;
- подогреватель – однокходовой и по пару, и по нагреваемой воде;
- допустимые потери давления нагреваемого теплоносителя $\Delta p_2 = 30$ кПа;
- теплопроводность материала пластин $\lambda_{ст} = 20,0$ Вт/(м·К);
- толщина теплопередающей стенки $\delta_{ст} = 0,0005$ м.

Схематично процесс конденсации показан на t - F -диаграмме (рисунок 2).

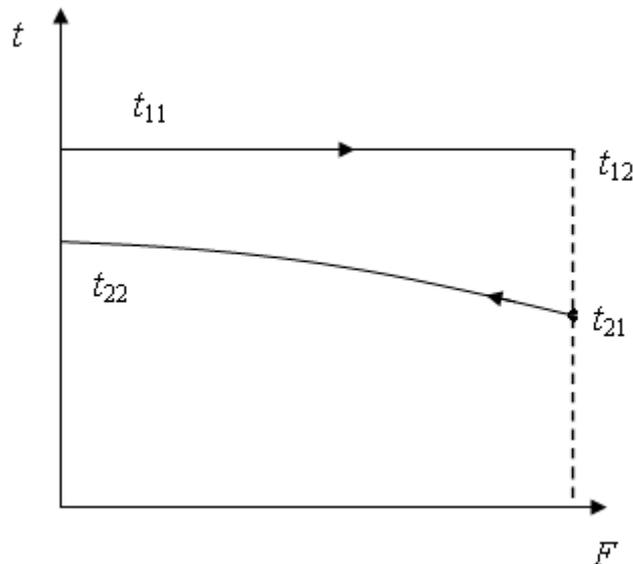


Рис. 2. Диаграмма процесса конденсации

Конструктивный расчет по алгоритму на основе обобщенных зависимостей выполняется в следующей последовательности:

1. Тепловая мощность аппарата согласно

$$Q = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_{22} - t_{21});$$

2. Расход пара D

$$D = \frac{Q}{h_{11} - h_{12}};$$

3. Предварительно задается коэффициент теплопередачи k;

4. Среднелогарифмический температурный напор $\Delta t_{\text{л}}$ согласно

$$\Delta t_{\text{л}} = \frac{(t_{11} - t_{22}) - (t_{12} - t_{21})}{\ln\left(\frac{t_{11} - t_{22}}{t_{12} - t_{21}}\right)};$$

5. Средние температуры теплоносителей

$$t_1 = 0,5 \cdot (t_{11} + t_{12});$$

$$t_2 = 0,5(t_{21} + t_{22});$$

6. Расчетная площадь поверхности теплообмена

$$F_p = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\text{л}}};$$

7. Выбор типоразмера с соответствующими значениями F_0 и f_0 (по таблице 1), коэффициентами в зависимостях по теплообмену и гидравлике по [4];

8. Количество пластин

$$n_{\text{пл}} = \frac{F_p}{F_0} + 2;$$

9. Количество каналов:

при четном количестве пластин:

для горячего теплоносителя

$$n_1 = \frac{n_{пл}}{2} - 1;$$

для холодного теплоносителя

$$n_2 = \frac{n_{пл}}{2};$$

при нечетном количестве

$$n_1 = n_2 \frac{n_{пл}-1}{2};$$

10. Проходное сечение пакета пластин с горячей и холодной стороны

$$f_1 = f_0 \cdot n_1;$$

$$f_2 = f_0 \cdot n_2;$$

11. Действительная площадь поверхности теплообмена

$$F = F_0 \cdot (n_{пл} - 2);$$

12. При известных расходах по уравнению неразрывности скорость пара, конденсата и воды

$$\omega_{п} = \frac{D}{\rho_{п} \cdot f_1};$$

$$\omega_{к} = \frac{D}{\rho_{к} \cdot f_1};$$

$$\omega_{в} = \frac{D}{\rho_{в} \cdot f_2};$$

13. Числа Рейнольдса конденсата и воды

$$Re_{к} = \frac{\omega_{к} \cdot \rho_{к} \cdot d}{\mu_{к}};$$

$$Re_{в} = \frac{\omega_{в} \cdot \rho_{в} \cdot d}{\mu_{в}};$$

14. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды α_2 с использованием значений A и n из [4] согласно выбранного типоразмера пластин;

$$\alpha_2 = A_2 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot Re_2^n \cdot Pr_2^{0,4}}{d}$$

15. Температурный перепад «пар-стенка»

$$\Delta t_1 = \Delta t_{л} - \frac{Q}{F} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} \right);$$

16. Число Кутателадзе Ku по зависимости

$$Ku = \frac{\rho_{п}^{0,5} \cdot \omega_{п}}{(\sigma \cdot g \cdot (\rho_{к} - \rho_{п}))^{0,25}}$$

17. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара α_1 согласно выбранному типоразмеру пластин

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{к}}{d} \cdot A_{к} \cdot Re_{к}^{0,9} \cdot \left(\frac{2F_0}{f_0} \right)^b \cdot K^{m_{к}} \cdot \left(\left(\frac{\rho_{к}}{\rho_{п}} \right)^{0,5} + 1 \right)^{l_{к}} \cdot Ku^{n_1} \cdot Pr_{к}^{0,4} \cdot X_{t_0};$$

18. Температура стенки $t_{ст}$

$$t_{\text{ст}} = \frac{t_1 \cdot \alpha_1 + t_2 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2};$$

19. Уточненные значения α_1 и α_2

$$\alpha_1 = \alpha_1 \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{кст}}}{\text{Pr}_{\text{кн}}} \right)^{0,25};$$

$$\alpha_2 = \alpha_2 \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{жст}}}{\text{Pr}_{\text{ж}}} \right)^{0,25};$$

20. Коэффициенты теплопередачи для чистой и грязной поверхности теплообмена (с учетом коэффициента загрязнения $\phi = 0,9$)

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

$$k = 0,9 \cdot k_0;$$

Запас поверхности теплообмена

$$\delta F\% = \frac{F - F_p}{F_p} \cdot 100\%;$$

Если запас поверхности теплообмена отсутствует, то производится пересчет с добавлением пластин, либо выбирается другой типоразмер пластин.

2.2. Тепловой поверочный расчет

2.2.1. Вариант поверочного расчета №1

Исходными данными являются:

- температура пара на входе в подогреватель t_{11} ;
- начальная и конечная температуры воды t_{12} и t_{22} ;
- геометрические характеристики подогревателя (площадь поверхности теплообмена одной пластины F_0 , живое сечение одного канала между пластинами f_0 , гидравлический диаметр d);
- общее количество пластин $n_{\text{пл}}$;
- тепловая мощность аппарата Q .

Дополнительные условия:

- конденсация пара происходит на всей поверхности теплообмена, конденсат не переохлаждается;
- подогреватель – однокходовой и по пару, и по нагреваемой воде;
- допустимые потери давления нагреваемого теплоносителя $\Delta p_2 = 30$ кПа;
- теплопроводность материала пластин $\lambda_{\text{ст}} = 20,0$ Вт/(м·К);
- толщина теплопередающей стенки $\delta_{\text{ст}} = 0,0005$ м.

Расчет производился в следующей последовательности:

1. Количество каналов по зависимостям при четном количестве пластин:
для горячего теплоносителя

$$n_1 = \frac{n_{\text{пл}}}{2} - 1;$$

для холодного теплоносителя

$$n_2 = \frac{n_{пл}}{2};$$

при нечетном количестве

$$n_1 = n_2 \frac{n_{пл}-1}{2};$$

2. Проходные сечения пакета пластин с горячей и холодной сторон по уравнениям

$$f_1 = f_0 \cdot n_1;$$

$$f_2 = f_0 \cdot n_2;$$

3. Среднелогарифмический температурный напор $\Delta t_{л}$ согласно

$$\Delta t_{л} = \frac{(t_{11} - t_{22}) - (t_{12} - t_{21})}{\ln\left(\frac{t_{11} - t_{22}}{t_{12} - t_{21}}\right)};$$

4. Действительная площадь поверхности теплообмена по зависимости

$$F = F_0 \cdot (n_{пл} - 2);$$

5. Расход пара D

$$D = \frac{Q}{h_{11} - h_{12}};$$

6. Расход воды G_2

$$G_2 = \frac{Q}{c_{p_2} \cdot (t_{22} - t_{21})};$$

7. Скорости пара, конденсата и воды по зависимостям

$$\omega_{п} = \frac{D}{\rho_{п} \cdot f_1};$$

$$\omega_{к} = \frac{D}{\rho_{к} \cdot f_1};$$

$$\omega_{в} = \frac{D}{\rho_{в} \cdot f_1};$$

8. Числа Рейнольдса конденсата и воды

$$Re_{к} = \frac{\omega_{к} \cdot \rho_{к} \cdot d}{\mu_{к}};$$

$$Re_{в} = \frac{\omega_{в} \cdot \rho_{в} \cdot d}{\mu_{в}};$$

9. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды α_2 с учетом коэффициентов A и n согласно типоразмеру пластины [4]

$$\alpha_2 = A_2 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot Re_2^n \cdot Pr_2^{0,4}}{d}$$

10. Температурный перепад «пар-стенка» по зависимости

$$\Delta t_1 = \Delta t_{л} - \frac{Q}{F} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} \right);$$

11. Число Кутателадзе Ku согласно

$$Ku = \frac{\rho_{\text{п}}^{0,5} \cdot \omega_{\text{п}}}{(\sigma \cdot g \cdot (\rho_{\text{к}} - \rho_{\text{п}}))^{0,25}}$$

12. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара α_1 согласно типоразмеру пластины

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{\text{к}}}{d} \cdot A_{\text{к}} \cdot Re_{\text{к}}^{0,9} \cdot \left(\frac{2F_0}{f_0}\right)^b \cdot K^{m_{\text{к}}} \cdot \left(\left(\frac{\rho_{\text{к}}}{\rho_{\text{п}}}\right)^{0,5} + 1\right)^{l_{\text{к}}} \cdot Ku^{n_1} \cdot Pr_{\text{к}}^{0,4} \cdot X_{t_0};$$

13. Температура стенки (в первом приближении) по зависимости

$$t_{\text{ст}} = \frac{t_1 \cdot \alpha_1 + t_2 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2};$$

14. Уточненные значения коэффициентов теплоотдачи с учетом влияния поперечного градиента температуры на теплофизические свойства по зависимостям

$$\alpha_1 = \alpha_1 \cdot \left(\frac{Pr_{\text{кст}}}{Pr_{\text{кн}}}\right)^{0,25};$$

$$\alpha_2 = \alpha_2 \cdot \left(\frac{Pr_{\text{жст}}}{Pr_{\text{ж}}}\right)^{0,25};$$

15. Коэффициенты теплопередачи для чистой и загрязненной поверхности теплообмена

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

$$k = 0,9 \cdot k_0;$$

16. Отношения тепловых эквивалентов

$$\omega_1 = \frac{D \cdot c_{\text{рк}}}{G_2 \cdot c_{\text{р2}}};$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\omega_1};$$

17. Числа единиц переноса теплоносителей незагрязненной поверхности теплообмена

$$N_{10} = \frac{k_0 \cdot F}{D \cdot c_{\text{рк}}}$$

$$N_{20} = \frac{k_0 \cdot F}{G_2 \cdot c_{\text{р2}}}$$

18. Числа единиц переноса теплоносителей загрязненной поверхности теплообмена

$$N_1 = \frac{k \cdot F}{D \cdot c_{\text{рк}}};$$

$$N_2 = \frac{k \cdot F}{G_2 \cdot c_{p2}};$$

19. Эффективности охлаждения и нагревания при незагрязненной поверхности теплообмена

$$\varepsilon_{10} = 1 - \exp(-N_{10});$$

$$\varepsilon_{20} = \frac{1 - \exp(-N_{20} \cdot (1 - \omega_2))}{1 - \omega_2 \cdot \exp(-N_{20} \cdot (1 - \omega_2))};$$

20. Эффективности охлаждения и нагревания при загрязненной поверхности теплообмена

$$\varepsilon_1 = 1 - \exp(-N_1);$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1 - \exp(-N_2 \cdot (1 - \omega_2))}{1 - \omega_2 \cdot \exp(-N_2 \cdot (1 - \omega_2))};$$

21. Расчетные значения тепловой мощности для незагрязненной и загрязненной поверхности теплообмена

$$Q_{p0} = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_{10};$$

$$Q_p = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_1;$$

22. Запас тепловой мощности для чистой и загрязненной поверхности теплообмена

$$\%Q_{p0} = \frac{Q_{p0} - Q}{Q} \cdot 100\%;$$

$$\%Q_p = \frac{Q_p - Q}{Q} \cdot 100\%;$$

23. Расчетное конечное значение температуры конденсата t_{12} и воды t_{22}

$$t_{12} = t_{11} - (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_1;$$

$$t_{22} = t_{21} + (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_1;$$

Далее производится пересчет с учетом полученных значений, после которого сравниваются значения Q_{p0} , Q_p , t_{22} . Если разница составляет более 5%, то производится новый пересчет.

Пересчет производился с учетом того, что значение температуры стенки $t_{ст}$ известно с предыдущей итерации

$$K = \frac{r}{c_{pk} \cdot (t_{11} - t_{ст})};$$

После проведения последней итерации рассчитывалось значение термического сопротивления слоя загрязнений

$$R = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_0} \right);$$

2.2.2. Вариант поверочного расчета №2

Исходными данными являются:

- температура пара на входе в подогреватель t_{11} ;

- начальная и конечная температуры воды t_{21} ;
- геометрические характеристики подогревателя (площадь поверхности теплообмена одной пластины F_0 , живое сечение одного канала между пластинами f_0 , гидравлический диаметр d);

- общее количество пластин $n_{пл}$;
- расходы теплоносителей D и G_2 .

Дополнительные условия:

- конденсация пара происходит на всей поверхности теплообмена, конденсат не переохлаждается;

- подогреватель – однокотловой и по пару, и по нагреваемой воде;

- допустимые потери давления нагреваемого теплоносителя $\Delta p_2 = 30$ кПа;

- теплопроводность материала пластин $\lambda_{ст} = 20,0$ Вт/(м·К);

- толщина теплопередающей стенки $\delta_{ст} = 0,0005$ м.

Расчет производился в следующем порядке:

1. Количество каналов

при четном количестве пластин:

для горячего теплоносителя

$$n_1 = \frac{n_{пл}}{2} - 1;$$

для холодного теплоносителя

$$n_2 = \frac{n_{пл}}{2};$$

при нечетном количестве

$$n_1 = n_2 \frac{n_{пл}-1}{2};$$

2. Проходное сечение пакета пластин с горячей и холодной стороны

$$f_1 = f_0 \cdot n_1;$$

$$f_2 = f_0 \cdot n_2;$$

3. Энтальпии пара h_{11} и конденсата h_{12} по температуре насыщения по [1];

4. Тепловая мощность аппарата

$$Q = D \cdot (h_{11} - h_{12});$$

5. Средняя температура нагреваемого теплоносителя принималась равной заданной температуре t_{21} ;

6. Температура t_{22}

$$t_{22} = t_{21} + \frac{Q}{G_2 \cdot c_{p2}};$$

7. Среднеарифметический температурный напор $\Delta t_{л}$ согласно

$$\Delta t_{л} = \frac{(t_{11} - t_{22}) - (t_{12} - t_{21})}{\ln\left(\frac{t_{11} - t_{22}}{t_{12} - t_{21}}\right)};$$

8. Действительная площадь поверхности теплообмена

$$F = F_0 \cdot (n_{пл} - 2);$$

9. Скорости пара, конденсата и воды

$$\omega_{\text{п}} = \frac{D}{\rho_{\text{п}} \cdot f_1};$$

$$\omega_{\text{к}} = \frac{D}{\rho_{\text{к}} \cdot f_1};$$

$$\omega_{\text{в}} = \frac{D}{\rho_{\text{в}} \cdot f_1};$$

10. Коэффициент теплоотдачи со стороны воды α_2 с учетом коэффициентов A и n согласно типоразмеру пластины [4];

$$\alpha_2 = A_2 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot \text{Re}_2^n \cdot \text{Pr}_2^{0,4}}{d}$$

11. Температурный перепад «пар-стенка»

$$\Delta t_1 = \Delta t_{\text{л}} - \frac{Q}{F} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right);$$

12. Число Кутателадзе согласно

$$\text{Ku} = \frac{\rho_{\text{п}}^{0,5} \cdot \omega_{\text{п}}}{(\sigma \cdot g \cdot (\rho_{\text{к}} - \rho_{\text{п}}))^{0,25}}$$

13. Коэффициент теплоотдачи со стороны пара α_1

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{\text{к}}}{d} \cdot A_{\text{к}} \cdot \text{Re}_{\text{к}}^{0,9} \cdot \left(\frac{2F_0}{f_0} \right)^b \cdot K^{\text{m}_{\text{к}}} \cdot \left(\left(\frac{\rho_{\text{к}}}{\rho_{\text{п}}} \right)^{0,5} + 1 \right)^{l_{\text{к}}} \cdot \text{Ku}^{n_1} \cdot \text{Pr}_{\text{к}}^{0,4} \cdot X_{t_0};$$

14. Температура стенки (в первом приближении)

$$t_{\text{ст}} = \frac{t_1 \cdot \alpha_1 + t_2 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2};$$

15. Уточненные значения коэффициентов теплоотдачи с учетом влияния поперечного градиента температуры на теплофизические свойства

$$\alpha_1 = \alpha_1 \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{кст}}}{\text{Pr}_{\text{кн}}} \right)^{0,25};$$

$$\alpha_2 = \alpha_2 \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{жст}}}{\text{Pr}_{\text{ж}}} \right)^{0,25};$$

16. Коэффициенты теплопередачи для чистой и грязной поверхности теплообмена (с учетом коэффициента загрязнения $\phi=0,9$)

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

$$k = 0,9 \cdot k_0;$$

17. Отношения тепловых эквивалентов

$$\omega_1 = \frac{D \cdot c_{\text{пк}}}{G_2 \cdot c_{\text{п2}}};$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\omega_1};$$

18. Числа единиц переноса теплоносителей незагрязненной поверхности теплообмена

$$N_{10} = \frac{k_0 \cdot F}{D \cdot c_{pk}}$$

$$N_{20} = \frac{k_0 \cdot F}{G_2 \cdot c_{p2}}$$

19. Числа единиц переноса теплоносителей загрязненной поверхности теплообмена

$$N_1 = \frac{k \cdot F}{D \cdot c_{pk}};$$

$$N_2 = \frac{k \cdot F}{G_2 \cdot c_{p2}};$$

20. Эффективности охлаждения и нагревания при незагрязненной поверхности теплообмена

$$\varepsilon_{10} = 1 - \exp(-N_{10});$$

$$\varepsilon_{20} = \frac{1 - \exp(-N_{20} \cdot (1 - \omega_2))}{1 - \omega_2 \cdot \exp(-N_{20} \cdot (1 - \omega_2))};$$

21. Эффективности охлаждения и нагревания при загрязненной поверхности теплообмена

$$\varepsilon_1 = 1 - \exp(-N_1);$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1 - \exp(-N_2 \cdot (1 - \omega_2))}{1 - \omega_2 \cdot \exp(-N_2 \cdot (1 - \omega_2))};$$

22. Расчетные значения тепловой мощности для незагрязненной и загрязненной поверхности теплообмена

$$Q_{p0} = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_{10};$$

$$Q_p = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_1;$$

23. Запас тепловой мощности для чистой и загрязненной поверхности теплообмена

$$\%Q_{p0} = \frac{Q_{p0} - Q}{Q} \cdot 100\%;$$

$$\%Q_p = \frac{Q_p - Q}{Q} \cdot 100\%;$$

24. Расчетное конечное значение температуры конденсата и воды t_{22}

$$t_{12} = t_{11} - (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_1;$$

$$t_{22} = t_{21} + (t_{11} - t_{21}) \cdot \varepsilon_1;$$

Далее производится пересчет с учетом полученных значений, после которого сравниваются значения Q_{p0} , Q_p , t_{22} . Если разница составляет более 5%, то производится новый пересчет.

Пересчет производится с учетом того, что значение температуры стенки $t_{ст}$ известно с предыдущей итерации

$$K = \frac{r}{c_{pk} \cdot (t_{11} - t_{ст})};$$

После проведения последней итерации рассчитывалось значение термического сопротивления слоя загрязнений

$$R = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_0} \right);$$

2.3. Гидравлический расчет

По условию задачи допустимые потери давления со стороны нагреваемого теплоносителя составляют 30 кПа. Расчет производился с помощью результатов обобщения данных по гидравлическому сопротивлению при течении теплоносителей в водоводяных подогревателях [4].

Число Рейнольдса воды в коллекторе $Re_{кол}$

$$Re_{кол} = \frac{G_2}{0,785 \cdot D_y \cdot \mu_2};$$

1. Потери давления в водяном тракте Δp_2

$$\Delta p_2 = B \cdot Re_2^m \cdot Re_{кол}^{m_{кол}} \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_2^2}{2} \cdot \frac{2F_0}{f_0};$$

2. Потери давления греющего теплоносителя Δp_1

$$\Delta p_1 = \xi \cdot \frac{\rho_{п} \cdot \omega_0^2}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot F_0}{f_0} \right) \cdot \left(\frac{Pr_{кст}}{Pr_{кн}} \right)^{0,65} \cdot \left[1 - \frac{k \cdot \Delta t_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot F_0}{f_0} \right) \cdot \left(\frac{1}{\rho_{п}} - \frac{1}{\rho_{к}} \right)}{2 \cdot 1000 \cdot r \cdot \omega_0} \right];$$

Список условных обозначений: D и G – расходы пара и воды; k – коэффициент теплопередачи; α – коэффициент теплоотдачи; δNu – среднеквадратичная погрешность для чисел Нуссельта; $R_{отл}$ – термическое сопротивление отложений; λ – теплопроводность материала пластины; $\lambda_k, c_{pk}, v_k, \mu_k$ – теплопроводность, изобарная теплоемкость и кинематическая и динамическая вязкость конденсата при температуре насыщения; δ – толщина пластины; Q – тепловая мощность теплообменника; F_0 – площадь поверхности теплообмена одной пластины; F – площадь поверхности теплообмена теплообменника; f_0 – площадь поперечного сечения одного межпластинного канала; φ – угол раскрытия гофр пластины; $h_{п}$ – энтальпия пара; r – скрытая теплота парообразования; L_1, L_3 – высота и ширина пластины; L_2, L_4 – вертикальное и горизонтальное межосевые расстояния между соседними патрубками для входа и выхода теплоносителя; L_p – развернутая длина пластины; D_n – наружный диаметр патрубка; D_y – внутренний диаметр патрубка; g – ускорение свободного падения; $\rho_{п}$ – плотность пара; $w_{п}$ – скорость пара; $K = \frac{r}{c_{pk} \cdot \Delta t_1}$ – число

фазового перехода; $K = \frac{\rho^{0,5} \cdot \omega_n}{[\sigma \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_n)]^{0,25}}$ – число Кутателадзе.

Список литературы

1. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. – М.: Издательство МЭИ. 1999. 168 с.
2. Taktashev R.N., Ivanova T.S., Yerokhin F.A. Calculation of heat transfer in case of freon condensation in plate condenser channels // ARPN Journal of engineering and applied sciences № 20, 2015. p. 9690-9695. 10 с.
3. Такташев Р.Н. Разработка метода расчета пластинчатых пароводяных подогревателей систем теплоснабжения на основе обобщенных зависимостей по теплообмену и гидродинамике.: Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Москва, 2012. 20 с.
4. Юркина М.Ю. Совершенствование теплообменных аппаратов водяных систем теплоснабжения повышением энергетической эффективности.: Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Москва, 2009, 179 с.

АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ВИДОВ ДЕФЕКТОВ СТЕКЛЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ООО «АРТ-ГЛАС»

Тимченко Н.А.

магистрант, Донской государственный технический университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

Мирный В.И.

канд. техн. наук, доцент, Донской государственный технический университет,
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье был проведен анализ деятельности ООО «АРТ-Глас» по повышению качества стеклянных конструкций с целью повышения конкурентных преимуществ на рынке строительных материалов России. По результатам проведенного анализа выявлено, что 85% всех несоответствий стеклянных конструкций приходится на дефекты материалов, разметки и обрезки профилей и заготовок, монтажные работы.

Ключевые слова: цельностеклянные конструкции, виды несоответствий, точность разметки.

Компания «АРТ-Глас» является одной из ведущих компаний в России, выполняющей проектирование, поставку и монтаж:

- цельностеклянных конструкций;
- автоматических дверей;
- нержавеющей, стальных, алюминиевых профильных конструкций;
- противопожарных конструкций.

Компания успешно работает на рынке цельностеклянных конструкций и автоматических дверей с 2003 года и на данный момент является одним из лидеров строительной отрасли России.

В ходе выполнения магистерской диссертации был произведен анализ работы по обнаружению дефектов стеклянных конструкций компании при

помощи основных инструментов управления качеством. Одним из таких инструментов является контрольный листок [2, с. 93-96].

Среди аспектов, влияющих на качество стеклянных конструкций можно условно разделить на следующие виды:

- качество материалов;
- расчеты прочности конструкций;
- проектные работы;
- подготовительные работы;
- разметка и обрезка профилей и заготовок;
- монтажные работы.

Для анализа причин несоответствий качества стеклянных конструкций на ООО «Арт-Глас» разработана форма контрольного листка [2, с. 93-96]. Видов несоответствий качества стеклянных конструкций, в который занесены результаты разделения несоответствий по обусловившим их причинам за четвертый квартал 2015 года (таблица 1). Дефекты выявлены в результате выборочного контроля, проведенного на объектах, возведенных ООО «Арт-Глас», и сданных в эксплуатацию в 2016 году.

На контрольном листке приняты следующие обозначения при заполнении столбца «Результаты контроля»:

I – 1 случаев выявления дефекта; V – 5 случаев выявления дефекта; X – 10 случаев выявления дефекта.

Таблица 1

Контрольный листок видов несоответствий стеклянных конструкций

Наименование объекта: <u>Стеклянные конструкции</u>		Дата: «18» декабря 2015 г.
Типы дефектов: Дефекты материалов; несоответствия расчетов на прочность; дефекты проектных работ; дефекты подготовительных работ; дефекты разметки и обрезки профилей и заготовок; дефекты монтажных работ.		Подрядчик: _____
Объем контроля, м ³ : <u>50000 м³</u>		ФИО контролера: _____
Тип дефекта	Результат контроля	Итоги по типам дефектов
материалов (1)	X III V VII XIII VI XX VI II XV I	88
разметки и обрезки профилей и заготовок (2)	III X IV XX V XV	57
проектных работ (3)	III V II VII I I	19
подготовительных работ (4)	I II I V	9
расчетов на прочность (5)	III I II	6
монтажных работ (6)	III II V I X VIII XI III	42
ИТОГО		221

По результатам сбора данных, рассмотренного выше контрольного листка, была составлена таблица распределения дефектов стеклянных конструкций (таблица 2).

Распределение дефектов стеклянных конструкций

Номер дефекта	Частота	Накопленный процент
1	88	40%
2	57	66%
3	19	74%
4	9	78%
5	6	81%
6	42	100%
Итого	221	100%

Для дальнейшего анализа видов дефектов был использован такой инструмент управления качеством как диаграмма Парето [2, с. 117-120].

Диаграмма Парето – это инструмент, позволяющий объективно представить и выявить основные причины, влияющие на исследуемую проблему. В основу анализа Парето положен принцип: восемьдесят процентов дефектов вызваны лишь двадцатью процентами причин [3, с. 232].

Диаграмма Парето представляет собой столбчатую диаграмму, где основаниям столбцов соответствуют причины или типы дефектов, а высоте столбцов соответствует количество выявленных причин или дефектов данного вида [3, с. 240].

Над столбцами диаграммы строится кумулятивная кривая, отражающая накопленную сумму типов дефектов.

Исходя из результатов распределения дефектов построена диаграмма Парето (рисунок).

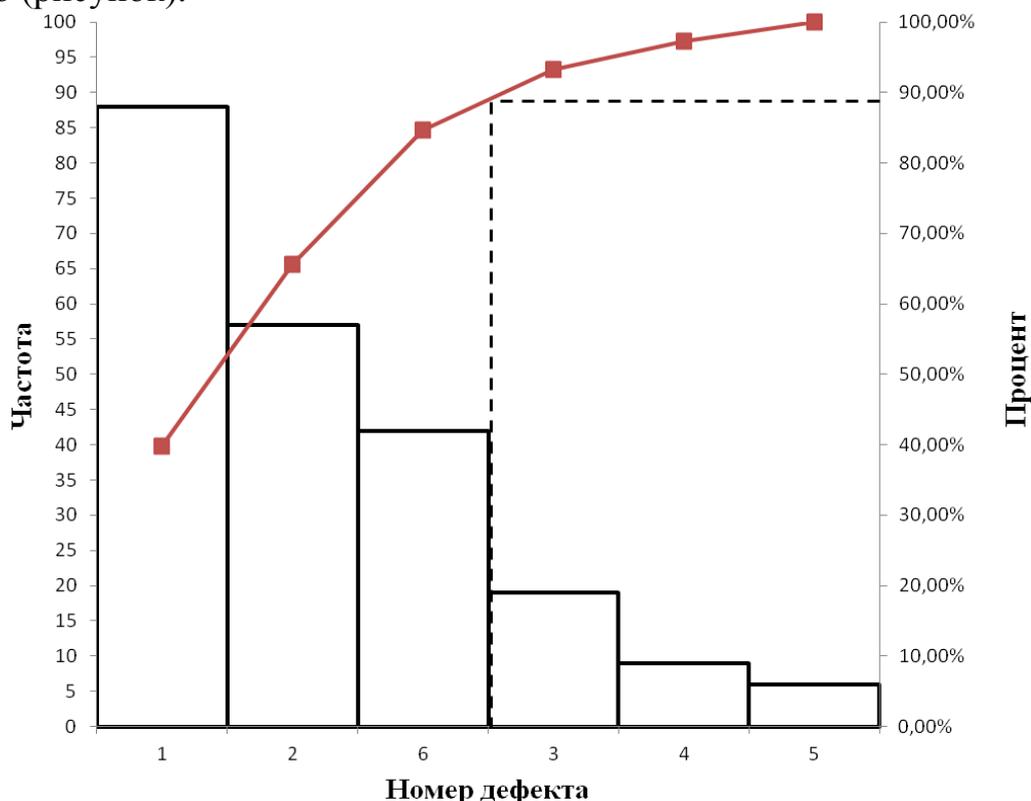


Рис. Диаграмма Парето видов несоответствий качества стеклянных конструкций

Из диаграммы Парето видно, что 85% всех несоответствий стеклянных конструкций приходится на дефекты материалов (номер дефекта 1), разметки и обрезки профилей и заготовок (номер дефекта 2), монтажных работ (номер дефекта 6).

Анализ диаграммы Парето свидетельствует о необходимости детального изучения причин возникновения указанных выше трех видов несоответствий материалов, работ по разметке и обрезке профилей и заготовок и монтажных работ.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54170-2010 Стекло листовое бесцветное. Технические условия.
2. Пономарев С.В. Управление качеством продукции: учебное пособие / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, В.Я. Белобрагин и др. –М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 243 с.
3. Мазур И.И. Управление качеством : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Управление качеством» / И.И. Мазур, В. Д. Шапиро. – 4-е изд., стер. –Москва: Омега-Л, 2007. – 400 с.
4. Ефимов В.В. Средства и методы управления качеством: учебное пособие / В.В. Ефимов. – М.: КНОРУС, 2007. – 232 с.
5. Басовский, Л. Е. Управление качеством: учеб. / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 211 с.
6. Салимова Т. А. Управление качеством: учеб. / Т. А. Салимова. – 2-е изд., стер. – М.: ОМЕГА-Л, 2008. – 414 с.
7. Магомедов Ш. Ш. Управление качеством продукции/ Ш. Ш. Магомедов, Г. Е. Беспалова. – М.: Дашков и К., 2013. – 336 с.
8. Михеева Е. Н. Управление качеством/ Е. Н. Михеева, М. В. Сероштан. – М.: Дашков и К., 2012. – 532 с.
9. Кохановский В.А., Сергеева М.Х. Организация и планирование эксперимента. Учебное пособие./В.А. Кохановский, М.Х. Сергеева – Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2003. 91 с.

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ

Титов Н.А.

старший преподаватель кафедры инженерной графики,
Липецкий государственный технический университет,
Россия, г. Липецк

На примере детали вал-шестерня типового редуктора рассматриваются этапы проектирования её проектирования в Autodesk Inventor Professional. Методика проектирования основана на применении мастеров проектирования и применяется в учебном процессе на кафедре инженерной графики ЛГТУ.

Ключевые слова: вал, зубчатое колесо, твердотельное моделирование, деталь.

На рисунке приведён пример типовой детали известной как вал-шестерня.



Рис. Вал-шестерня (твердотельная модель):
 1 – зубчатый венец, 2 – вал, 3 – шпоночный паз

Одним из способов разработки 3D-модели такой детали является создание файла сборки Autodesk Inventor и применение мастеров проектирования, позволяющих создать [1, 5, 6, 9, 10, 14] и рассчитать [3, 8, 12] вал, зубчатое колесо или, при необходимости, несколько зубчатых колёс, а также, если требуется, другие типовые элементы деталей, например, как в рассматриваемом случае, шпоночные пазы.

Предлагается следующий порядок выполнения работ по созданию 3D-моделей рассматриваемых деталей:

- создание в соответствии с шаблоном обычную сборку;
- в генераторе компонентов зубчатого зацепления создать, а затем выполнить предварительный расчёт шестерни и зубчатого колеса с требуемыми параметрами;
- используя генератор компонентов вала создать прототип вала;
- при необходимости применить генератор компонентов шпоночного соединения;
- выполнить предварительный расчёт вала в генераторе компонентов валов;
- используя привязки установить шестерню на соответствующем участке вала, а зубчатое колесо подавить.

На данном этапе проектирования вал-шестерня выглядят практически неотличимо от разрабатываемой модели детали, но остаётся 3D-сборочной единицей (файл с расширением *.iam). Объединим все составляющие сборки в одну деталь ((файл с расширением *.ipt). Для этого используем шаблон для создания детали в Autodesk Inventor и, используя команду наследования, поместим сборку в файл детали.

Располагая 3D-моделью изделия в Autodesk Inventor, помимо создания его чертежа, имеется возможность выполнить три типа расчётов:

- по традиционной методике в генераторах компонентов (мастерах проектирования) [3, 8, 12];
- выполнить прочностные расчёты методом конечных элементов;
- выполнить динамические расчёты [1, 4, 7, 11, 13, 15].

И ещё, что очень важно, рассчитать параметры динамических моделей, позволяющих определить уровень динамических процессов, возникающих в изделии при его эксплуатации [1, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 13, 15].

Список литературы

1. Телегин В.В Компьютерное моделирование динамических процессов в механизмах кузнечно-штамповочного оборудования / В.В. Телегин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 1. С. 67-73.
2. Телегин В.В. 3D-моделирование в курсе инженерной графики технических специальностей ЛГТУ / В.В. Телегин, Н.А. Титов // В сборнике: Новые задачи технических наук и пути их решения Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2015. С. 145-149.
3. Телегин В.В. 3D-моделирование и оптимизация конструкции рамы культиватора / В.В. Телегин // В сборнике: ОБЩЕСТВО, НАУКА И ИННОВАЦИИ сборник статей Международной научно-практической конференции: в 4-х частях. редколлегия: А.А. Сукиасян (ответственный редактор), Р.Г. Юсупов, Г.Д. Овакимян. 2013. С. 247-250.
4. Телегин В.В. Анализ динамики цикловых механизмов на базе их твердотельных моделей / В.В. Телегин, С.А. Коробов // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 4-1. С. 140-144.
5. Телегин В.В. Графическая подготовка студентов на основе программных продуктов фирмы Autodesk / В.В. Телегин, И.В. Телегин // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 24.
6. Телегин В.В. Графическая подготовка студентов. Начертательная геометрия и Autodesk AutoCAD / В.В. Телегин В.В., И.В. Телегин // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-2. С. 101.
7. Телегин В.В. Динамика механизмов многопозиционных холодноштамповочных автоматов / В.В. Телегин // монография / В. В. Телегин. Липецк, 2006.
8. Телегин В.В. Исследование влияния характера изменения технологического усилия штамповки на динамику кривошипного горячештамповочного прессы // В.В. Телегин, А.И. Володин, М.Н. Абдуллах // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2009. № 2. С. 78-82.
9. Телегин В.В. Курс “Инженерная графика” на базе Autodesk Inventor Professional / В.В. Телегин, А.С. Степанов // В сборнике: Наука и образование в XXI веке сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 17 частях. 2014. С. 147-148.
10. Телегин В.В. Курс инженерной графики технических специальностей на базе Autodesk Inventor / В.В. Телегин В.В., Н.А. Титов // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 4-1. С. 174-178.
11. Телегин В.В. Объектно-ориентированный подход и его компьютерная реализация в задачах анализа динамики машин / В.В. Телегин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 4-3. С. 623-628.
12. Телегин В.В. Построение имитационных моделей в задачах исследования динамики механических систем / В.В. Телегин В.В., С.А. Коробов // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-10. С. 2125-2130.
13. Телегин В.В. Разработка и тестирование объекта системы динамического анализа механизмов (DAM) © / В.В. Телегин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4-4. С. 1115-1118.

14. Телегин В.В. Структура курса начертательная геометрия с элементами компьютерной графики / В.В. Телегин // В сборнике: Наука и образование в жизни современного общества сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 18 частях. 2013. С. 117-118.

15. Телегин И.В. Динамические аспекты реализации технологических процессов горячей объёмной штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах / И.В. Телегин // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 4-1. С. 145-148.

АНАЛИЗ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ БАНКОВСКО-ФИНАНСОВОГО СЕКТОРА

Устинов Р.А.

аспирант кафедры «Информационная безопасность»,
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Россия, г. Москва

В статье проводится анализ угроз информационной безопасности для корпоративных сетей компаний и организаций, представляющих банковско-финансовый сектор. Для достижения поставленной цели определяются основные объекты защиты и источники угроз безопасности. На основе полученных результатов для сетевой инфраструктуры представителей финансового сектора идентифицируются актуальные угрозы, а также формируется ряд требований, которым должна удовлетворять методика проверки актуальности угроз информационной безопасности.

Ключевые слова: угрозы информационной безопасности, источники угроз, информационная безопасность банковско-финансового сектора, мультисервисная сеть.

ВВЕДЕНИЕ

Для любого банка или компании, функционирующей в сфере финансов, основной целью является извлечение прибыли из своей деятельности. Поэтому защита информации для представителей банковско-финансового сектора (БФС) является одной из приоритетных задач. Такое положение дел связано с тем, что количество инцидентов информационной безопасности (ИБ) в данной сфере постоянно увеличивается. Утечка конфиденциальной информации, хищение финансовых средств со счетов клиентов, блокировка сервисов – все эти и подобные угрозы при успешной реализации наносят финансовый и имиджевый ущерб, что в свою очередь приводит к снижению прибыли [1].

Более того, сами техники и функционал для проведения атак находятся в постоянном развитии, с одной стороны, появляется ПО, не требующее от злоумышленника особых навыков и серьезных финансовых вложений, с другой – опытные злоумышленники не перестают совершенствовать свое мастерство и усложнять свою деятельность по взлому компьютерных систем.

В связи с этим, обеспечение ИБ корпоративных сетей и систем компаний БФС является актуальной и сложной задачей, требующей комплексного подхода. Под комплексным подходом в данной работе понимается декомпо-

зация сложной задачи на ряд более простых взаимосвязанных задач, решение которых позволит достичь требуемый уровень защиты корпоративной сети.

Так, невозможно построить эффективную систему защиты финансовой компании без проведения комплекса организационных мер. Нельзя определить как и какими средствами защищать информацию, предварительно не установив от чего ее необходимо защищать. Таким образом, первоочередной задачей является определение угроз ИБ корпоративных сетей БФС и их последующий анализ.

1. СТРУКТУРА КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ БФС. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ

В настоящее время корпоративная сеть компании БФС представляет собой мультисервисную сеть, способную передавать голос, видеоизображение и данные. Кроме того, отличительной особенностью таких сетей являются повышенные требования по обеспечению гарантированного качества обслуживания (QoS), а также требования по обеспечению безопасности. Это обусловлено тем, что деятельность данной компании должна носить бесперебойный характер с предоставлением большинства сервисов в режиме реального времени.

Как правило, корпоративные сети таких компаний имеют распределенную сетевую структуру. Типичный пример такой структуры представлен на рисунке.

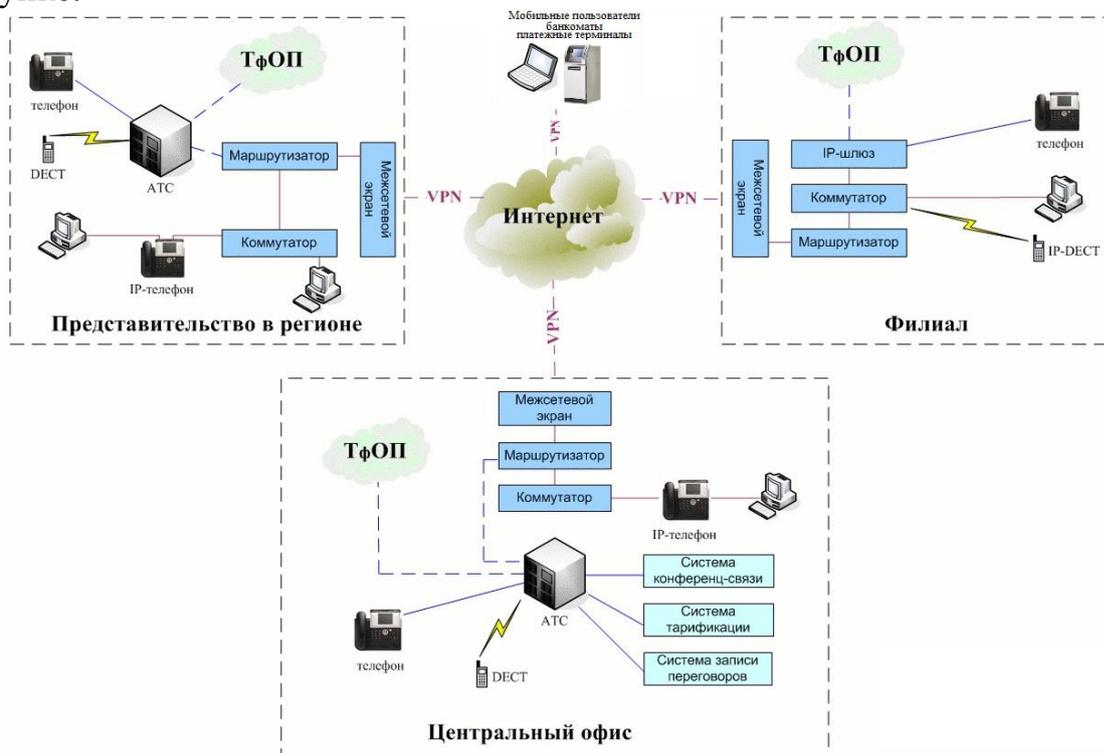


Рис. Пример структуры корпоративной сети компании БФС

Помимо основных сетевых узлов, которые являются неотъемлемой частью любой корпоративной сети (клиентские, серверные станции, коммутаторы, маршрутизаторы и т.д.), в мультисервисных сетях БФС присутствуют IP-телефоны, IP-камеры, сервера управления телефонными соединениями,

сервера видеоконференцсвязи, голосовые шлюзы, банкоматы, платежные терминалы и т.п. Наличие подобных мультисервисных элементов позволяет значительно расширить функционал обычных сетей, однако это приводит к возникновению новых угроз безопасности, что в свою очередь накладывает дополнительные требования к обеспечению безопасности корпоративной инфраструктуры компании БФС [2].

Подводя итог сказанному выше, определим основные объекты защиты. Согласно Концепции безопасности коммерческого банка, к объектам защиты относятся:

- 1) сотрудники банка (персонал, имеющий непосредственный доступ к материальным ценностям, сведениям, составляющих банковскую и коммерческую тайну, а также к объектам информационной инфраструктуры);
- 2) финансовые активы (валютные средства, драгоценности, ценные бумаги и т.д.);
- 3) информационные активы (информация, составляющая служебную, коммерческую тайну, а также иная конфиденциальная информация вне зависимости от формы ее представления);
- 4) информационная инфраструктура (автоматизированные системы, вычислительные сети, сети телерадиосвязи и т.д.);
- 5) материальные активы (недвижимое имущество, сейфы и хранилища, транспортные и иные средства) [3].

Все объекты защиты в различной степени уязвимы к угрозам информационной безопасности, а также представляют разный интерес для злоумышленников. С этой точки зрения наиболее подвержены риску реализации атак финансовые и информационные активы.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ УГРОЗ И НАРУШИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Определение источников угроз информационной безопасности является важным этапом при создании комплексной системы защиты любой организации.

Согласно опубликованному ФСТЭК России проекту нормативного документа «Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах» (Методика) источники угроз безопасности информации являются определяющим фактором в проведении анализа угроз ИБ в информационных системах. Так, данный правовой акт устанавливает следующие типы источников угроз ИБ:

- антропогенные источники (лица, преднамеренные или непреднамеренные действия которых могут привести к нарушению ИБ защищаемых объектов);
- техногенные источники (техногенные угрозы – отказы или сбои в работе технических или программных компонентов информационной инфраструктуры);
- стихийные источники (угрозы стихийных бедствий, иных природных явлений) [5].

Более детализированное определение источников угроз ИБ для компаний БФС представлено в нормативном документе Банка России РС БР ИББС-2.2-2009. Данный стандарт устанавливает 7 классов источников угроз ИБ:

Класс 1. Источники угроз ИБ, связанные с неблагоприятными событиями природного, техногенного и социального характера (пожар, природные катастрофы, стихийные бедствия и т.п.).

Класс 2. Источники угроз ИБ, связанные с деятельностью террористов и лиц, совершающих преступления и правонарушения (террористические действия, промышленный шпионаж, социальный инжиниринг и т.д.).

Класс 3. Источники угроз ИБ, связанные с деятельностью поставщиков, провайдеров, партнеров (использование нелицензированного программного обеспечения, ошибки в заключенных контрактах с поставщиками услуг и т.д.).

Класс 4. Источники угроз ИБ, связанные со сбоями, отказами, разрушениями/повреждениями программных и технических средств (сбои и отказы в программном обеспечении, сбои и отказы технических средств и каналов связи и т.д.).

Класс 5. Источники угроз ИБ, связанные с деятельностью внутренних нарушителей ИБ (недобросовестное исполнение служебных обязанностей, выполнение вредоносного кода и т.д.).

Класс 6. Источники угроз ИБ, связанные с деятельностью внешних нарушителей ИБ (действие неавторизованного субъекта, неконтролируемое уничтожение информационного актива и т.д.).

Класс 7. Источники угроз ИБ, связанные с несоответствием требованиям надзорных и регулирующих органов, действующему законодательству (несоответствие внутренней документации действующему законодательству, изменчивость и несогласованность требований надзорных и регулирующих органов, вышестоящих инстанций) [7].

Исходя из представленных источников угроз ИБ определим нарушителей ИБ. По возможностям непосредственного доступа к защищаемой информации или к информационной инфраструктуре различают внутренних и внешних нарушителей.

К внешним нарушителям относятся:

А.1.1. специальные службы иностранных государств (блоков государств);

А.1.2. террористические, экстремистские группировки;

А.1.3. преступные группы (криминальные структуры);

А.1.4. конкурирующие организации;

А.1.5. внешние субъекты (физические лица);

А.1.6. разработчики, производители, поставщики программных, технических и программно-технических средств;

А.1.7. бывшие работники (пользователи).

В роли внутренних нарушителей могут выступать:

А.2.1. специальные службы иностранных государств (блоков государств);

А.2.2. лица, привлекаемые для установки, наладки, монтажа, пусконаладочных и иных видов работ;

А.2.3. лица, обеспечивающие функционирование информационных систем или обслуживающие инфраструктуру оператора (администрация, охрана, уборщики и т.д.);

А.2.4. пользователи информационной системы;

А.2.5. администраторы информационной системы и администраторы безопасности.

Стоит отметить тот факт, что каждый тип нарушителя обладает своим набором возможностей по реализации угроз ИБ. Проект Методики ФСТЭК России определяет три уровня потенциальных возможностей нарушителя:

- базовый (низкий);
- базовый повышенный (средний);
- высокий.

К нарушителям с базовым потенциалом относятся нарушители А.1.5., А.1.7., А.2.2., А.2.3., А.2.4.

Средним потенциалом обладают нарушители А.1.2., А.1.3., А.1.4., А.1.6., А.2.5.

Высокий потенциал реализации угроз ИБ доступен только для представителей специальных служб (А.1.1., А.2.1.).

Также при определении актуальных угроз необходимо учитывать возможность сговора нарушителей с целью повышения своего атакующего потенциала.

3. АНАЛИЗ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ БФС

Определение актуальных угроз ИБ – это сложный и ресурсоемкий процесс. Существующие методики анализа угроз либо не отражают в полной мере весь спектр существующих угроз, либо результаты применения данных методик сложно использовать в реальной деятельности.

Так, отраслевая модель угроз, содержащаяся в стандарте Банка России РС БР ИББС-2.4-2010 не учитывает в качестве источников угроз угрозы ИБ, связанные с неблагоприятными событиями природного, техногенного и социального характера [8].

Матричный метод определения угроз, предлагаемый представителями University at Albany и General Electric носит исключительно субъективный характер.

Методика РС БР ИББС 2.2-2009 больше подходит для теоретической оценки угроз ИБ и непрактична для использования в реальных условиях.

Более полным и практичным в вопросе анализа и определения актуальности угроз ИБ представляется проект «Методики определения угроз безопасности информации в информационных системах» ФСТЭК России.

В качестве исходных данных об угрозах ИБ воспользуемся базовой моделью угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. В главе 1 было определено, что информационная структура компании БФС, как правило, представляет собой

территориально распределенную корпоративную сеть, имеющую подключение к сетям связи общего пользования и (или) сетям международного информационного обмена. Таким образом, для выборки угроз ИБ характерных для данного типа информационных систем воспользуемся «Типовой моделью угроз безопасности персональных данных, обрабатываемых в распределенных информационных системах персональных данных, имеющих подключение к сетям связи общего пользования и (или) сетям международного информационного обмена». Согласно данной модели для подобного рода распределенных систем возможна реализация следующих угроз:

- 1) Угрозы утечки информации по техническим каналам
 - а. угрозы утечки акустической (речевой) информации;
 - б. угрозы утечки видовой информации;
 - в. угрозы утечки информации по каналу ПЭМИН;
- 2) Угрозы непосредственного доступа в операционную среду информационной системы
 - а. угрозы модификации базовой системы ввода/вывода (BIOS), перехвата управления загрузкой, перехвата или подбора паролей или идентификаторов, а также использования технологических паролей BIOS;
 - б. угрозы, реализуемые после загрузки операционной системы и направленные на выполнение несанкционированного доступа с применением стандартных функций (уничтожение, копирование, перемещение, форматирование носителей информации и т.п.) операционной системы или какой-либо прикладной программы (например, системы управления базами данных), с применением специально созданных для выполнения НСД программ (программ просмотра и модификации реестра, поиска текстов в текстовых файлах и т.п.);
 - в. угрозы внедрения вредоносных программ;
- 3) Угрозы безопасности, реализуемые с использованием протоколов межсетевого взаимодействия
 - а. анализ сетевого трафика;
 - б. сканирования сети;
 - в. выявления паролей;
 - г. подмена доверенного объекта сети;
 - д. навязывание ложного маршрута;
 - е. внедрение ложного объекта сети;
 - ж. отказ в обслуживании (частичное исчерпание ресурсов, полное исчерпание ресурсов, нарушение логической связности между атрибутами, данными, объектами, использование ошибок в программах);
- з. удаленный запуск приложений;
- 4) Угрозы программно-математических воздействий (программные закладки, программные (компьютерные) вирусы, вредоносные программы, распространяющиеся по сети) [6].

Данный перечень не является полным, так как не учитывает угрозы, источниками которых являются отказы или сбои в работе технических или программных средств, иными словами, техногенные угрозы, а также угрозы,

связанные с природными явлениями. Указанные угрозы подлежат обязательному рассмотрению в виду требований по обеспечению непрерывности деятельности компании БФС.

Наряду с этим существует постоянно обновляемая ФАУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России» база данных угроз ИБ, доступная на официальном сайте ФСТЭК России (<http://bdu.fstec.ru/>). По состоянию на 20.09.2016 г. она насчитывает 186 угроз и также может быть использована в качестве исходных данных.

Следующим шагом согласно Методике является оценка возможностей нарушителя, затем необходимо провести оценку актуальности угроз ИБ из исходных данных.

В качестве оценки актуальности используется двухкомпонентных вектор:

$УБИ_j^A = [вероятность\ реализации\ угрозы\ (P_j); \text{ степень}\ ущерба\ (X_j)],$

где вероятность реализации угрозы определяется путем анализа статистических данных об угрозе.

В том случае, если данная статистика отсутствует, применяется другой вектор:

$УБИ_j^A = [возможность\ реализации\ угрозы\ (Y_j); \text{ степень}\ ущерба\ (X_j)],$

где возможность реализации угрозы оценивается исходя из уровня защищенности и потенциала нарушителя [5].

Степень ущерба оценивается одинаково в обоих случаях – путем анализа последствий от нарушения конфиденциальности, целостности или доступности информации.

Таким образом, данная Методика представляется очень проработанным документом, учитывающим многие факторы при определении актуальности угроз ИБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и актуализация угроз ИБ – неотъемлемая часть процесса обеспечения информационной безопасности. В настоящее время существует множество методик для определения актуальных угроз ИБ, анализа рисков и оценке ущерба от реализации атак на информационные системы. Кроме методов, применяющихся в рассмотренных в данной работе стандартах, известны следующие: структурированные и полуструктурированные опросы, метод Дельфи, контрольные листы, анализ сценариев, цепи Маркова (ТМО), метод Монте-Карло, Байесовский подход и сети Байеса и другие [4].

Каждая организация сама определяет какую методику использовать. Однако важными условиями применимости выбранного способа оценки актуальности угроз ИБ являются:

- 1) удобство, методика не должна вызывать сложностей при применении;
- 2) повторяемость результатов, применение методики к одним и тем же входным данным должно обеспечивать одинаковый результат;
- 3) практичность, результаты анализа должны быть легко применимы на практике;
- 4) объективность, использование субъективных оценок должно быть сведено к минимуму.

Также важным моментом в обеспечении безопасности информации является периодический контроль. Пополнение новыми видами угроз перечня угроз ИБ и их актуализация должны носить периодических характер.

Список литературы

1. Казарин, О.В., Кондаков С.Е., Троицкий И.И. Подходы к количественной оценке защищенности ресурсов автоматизированных систем // Вопросы кибербезопасности. 2015. – №2 (10). – С. 31-35.
2. Лисецкий Ю.М. корпоративная мультисервисная сеть банка. Пример построения // Программные продукты и системы. научно-практическое издание. 2013. – № 3 (103). 215-219 с.
3. Концепция безопасности коммерческого банка URL: <http://www.bre.ru/security/14277.html> (дата обращения: 12.09.2016).
4. Марков А.С., Цирлов В.Л., Барабанов А.В. Методы оценки несоответствия средств защиты информации. М.: Радио и связь, 2012. 24 с.
5. Методический документ: Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах. Проект. URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/812> (дата обращения: 15.09.2016).
6. Методический документ: Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (выписка). URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/289> (дата обращения: 15.09.2016).
7. РС БР ИББС-2.2-2009 Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Методика оценки рисков нарушения информационной безопасности. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94789/ – (дата обращения: 16.09.2016).
8. РС БР ИББС-2.4-2010 "Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Отраслевая частная модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных организаций банковской системы Российской Федерации" URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/490534/> – (дата обращения: 16.09.2016).

МОДЕЛЬ ВЫБОРА И ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ К ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА МЧС РОССИИ

Хитов С.Б.

преподаватель кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Россия, г. Санкт-Петербург

В статье представлена модель оценки информационной безопасности ситуационного центра МЧС России на основе градуированной классификации требований по безопасности и защищенности информационных систем в зависимости от уровня их сложности.

Ключевые слова: информационная безопасность, информационная система, ситуационный центр, система распределенных ситуационных центров, защищенность, сложная система, уровень сложности, модель, оценка информационной безопасности.

Одним из важнейших аспектов успешной работы активно развивающейся и совершенствующейся в МЧС России системы распределенных ситуационных центров (СРСЦ), представляющей собой трехуровневую систему центров управления в кризисных ситуациях (ЦУКС): Национальный ЦУКС МЧС России – ЦУКС региональных центров – ЦУКС главных управлений МЧС России по субъектам РФ [5] и решающей широкий круг задач системы антикризисного управления, является безопасность и защищенность обрабатываемой и циркулирующей между входящими в систему ситуационными центрами (СЦ) информации.

Особенности и специфика работы СЦ, входящих в систему, требуют осуществления ее бесперебойной, оперативной и безопасной обработки, а также обеспечение квалифицированной защиты в процессе использования, что, в свою очередь ведет к необходимости создания в СРСЦ МЧС России эффективной системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ).

Одной из ключевых особенностей современных управляющих и информационных систем (ИС) внедряющихся и эксплуатирующихся в системе распределенных ситуационных центров (СРСЦ) МЧС России является рост их сложности. В состав ИС входит все большее число образующих системы элементов. Кроме того, усложняется структура этих элементов, определяющая их объединение в системы и взаимодействие между собой в процессе функционирования [3, 7].

Современные стандарты и требования по обеспечению информационной безопасности (ИБ) предусматривают в рамках создания СОИБ комплексное обследование (или аудит) состояния защищенности, как отдельных объектов информатизации, так и объединяющих их систем.

Информационные системы (ИС), применяющиеся и внедряющиеся в СЦ МЧС России, характеризуются сегодня ростом сложности по ряду направлений. Определяя безопасность ИС через состояние их защищенности, можно отметить, что при прочих равных условиях система, состоящая из большого числа входящих в нее элементов и имеющая более сложную структуру и алгоритм функционирования, является менее защищенной по сравнению с более простой системой [3, 7].

Требования по безопасности, предъявляемые к ИС в настоящее время, не градуируются в зависимости от их уровня сложности, зачастую носят характер требований к отдельным, небольшим и относительно не сложным системам, что приводит к снижению их защищенности при увеличении сложности.

Это приводит к необходимости при создании СОИБ СЦ МЧС России проводить оценку и формулировку требований по безопасности к ИС центров с учетом их сложности.

Таким образом, на начальном этапе построения системы защиты информации сложной ИС, в том числе распределенной, первостепенной задачей становится оценка необходимого уровня требований по защищенности и заданием градуированных по сложности классов защищенности.

Существует несколько подходов к разделению систем по сложности. На начальном уровне оценки наиболее применяется градация в зависимости от числа элементов, входящих в систему. При этом выделяют четыре класса систем [6]:

- малые системы ($10 \dots 10^3$ элементов);
- сложные ($10^4 \dots 10^7$ элементов);
- ультрасложные ($10^7 \dots 10^{30}$ элементов);
- суперсистемы ($10^{30} \dots 10^{200}$ элементов).

В связи с тем, что понятие элемента возникает относительно задачи и цели исследования системы, будем считать данное определение сложности относительным, а не абсолютным.

С учетом таких объективных факторов как: угрозы информационной безопасности, связанные с угрозами риски ИБ, а также уязвимости ИС или систем контрмер, влияющие на вероятность реализации угроз, в соответствии с концепцией оценки системы защиты информации при построении в СРСЦ МЧС России СОИБ основанной на принципе менеджмента информационной безопасности [2, 5] представим следующую модель оценки информационной безопасности ИС в СРСЦ МЧС России (рис. 1).

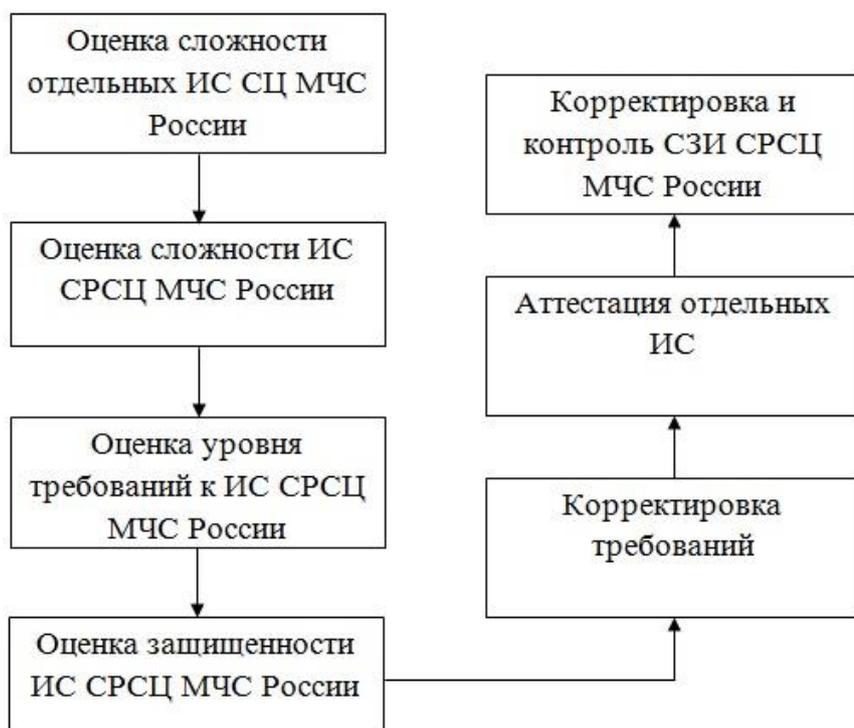


Рис. 1. Модель оценки информационной безопасности ИС СРСЦ МЧС России и структурное градуирование сложности и оценок защищенности

Данная модель, представляющая собой совокупность объективных внешних и внутренних факторов и их влияние на состояние ИБ на сложном объекте (СЦ), соответствует специальным нормативным документам по обеспечению информационной безопасности, принятым в Российской Федерации, международному стандарту ISO/IEC 15408 «Информационная технология – методы защиты – критерии оценки информационной безопасности»,

стандарту ISO/IEC 27002 «Управление информационной безопасностью», и учитывает тенденции развития отечественной нормативной базы в области ИБ с дополнением учета сложности ИС СРСЦ МЧС России.

Для построения сбалансированной СОИБ предполагается первоначально провести анализ рисков ИБ. Затем на основе заданного критерия определить оптимальный уровень риска ИС СРСЦ МЧС России. Далее построить систему контрмер таким образом, чтобы достичь заданного уровня риска.

К сожалению, данные по вероятности атак на отдельные рабочие места ИС очень разрозненны, а иногда не собираются вообще или противоречат друг другу. Поэтому для демонстрации расчетов оценок, воспользуемся примером данных приведенных на рис. 2.

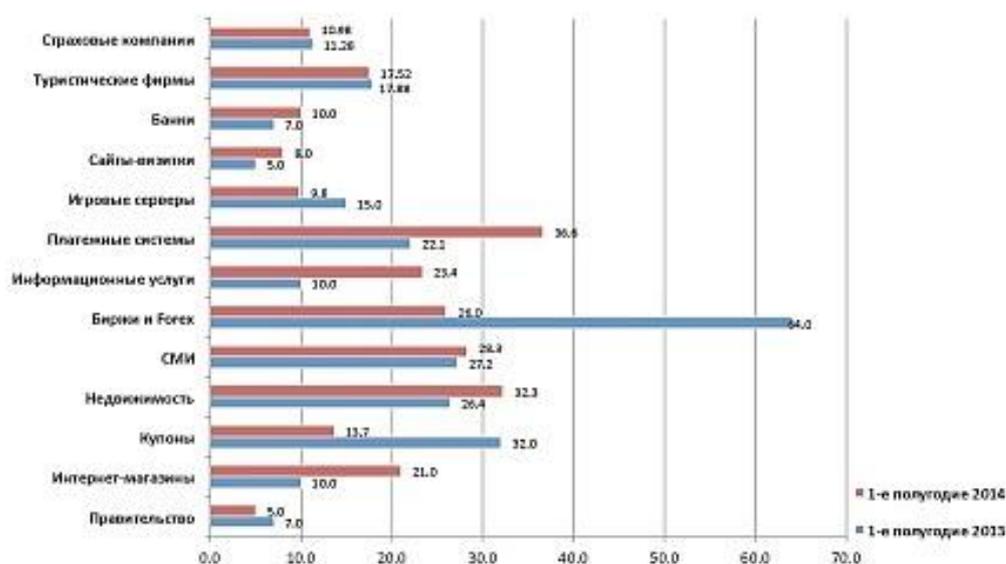


Рис. 2. Данные по вероятностям атак на информационные системы, опубликованные компанией Qrator

С учетом колебаний вероятности атак на отдельные рабочие места в год, примем для демонстрации расчетов некоторое среднее значение 0.1.

Также примем, что атаки на отдельные рабочие места ИС СРСЦ МЧС России независимы. Тогда по соотношению для расчета вероятности независимых событий:

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i)$$

можно рассчитать вероятность атак на ИС всей системы в целом.

Так, на основании расчетных данных для ИС, имеющей сложность от 1 до 10 рабочих мест, вероятность атак составляет 0,5.

Чтобы компенсировать рост отказов в функционировании ИС, вызываемых нарушениями ИБ – результатами успешных попыток реализации угроз [3, 7], по причине роста сложности систем, необходимы изменения требова-

ний по безопасности к ИС, определяемых Руководящим документом [1] в сторону их увеличения (таблица).

Таблица

**Соотношение сложности ИС СРСЦ МЧС России
и роста класса их защищенности**

Сложность ИС СРСЦ МЧС России	Рост класса защищенности
1	нет
10	+1
100	+2
1000 и более	+3 и более

Представленная модель в целях наиболее объективной оценки защищенности ИС СРСЦ МЧС России, позволяет провести более детальную и градуированную классификацию требований по безопасности и защищенности информационных систем в зависимости от уровня их сложности.

Предлагается следующая классификация ИС СРСЦ МЧС России по уровню сложности:

- для сложности до 10 рабочих мест – ИС-4;
- для сложности от 10 до 100 рабочих мест – ИС-3;
- для сложности от 100 до 1000 рабочих мест – ИС-2;
- для сложности выше 1000 рабочих мест – ИС-1;

Таким образом, для информационной системы класса ИС-1 предусматриваются следующие меры снижения реализации угроз, связанных с проведением атак, (в т.ч. повторных), компенсирующие их последствия:

1. ИС-1-ИАФ.1-7. Обновление идентификаторов и аутентификаторов пользователей, устройств и объектов ИС.

2. ИС-1-ИАФ.1-7. Создание рабочего места (РМ) дублирующего исходное без обновлений по п. 1 и подключение к нему системы регистрации источников атак, моделирование продолжения нормальной работы рабочего места.

3. ИС-1-УПД.1-17. Обновление прав и полномочий пользователей.

4. ИС-1-УПД.1-17. Создание ложного рабочего места по аналогии с п.3 настоящих дополнений.

5. ИС-1-ОПС.1-4. Переустановка программного обеспечения, операционной системы и их перезапуск.

6. ИС-1-ОПС.1-4. Аналогично п.п. 2 и 4.

7. ИС-1-ЗНИ.1-8. Замена машинных носителей.

8. ИС-1-ЗНИ.1-8. Аналогично п.2

9. ИС-1-РСБ1-8. Накопление базы данных о событиях и обмен данными с другими ИС.

10. ИС-1-РСБ1-8. Сбор и анализ мировых данных.

11. ИС-1-АВЗ1-2. Аналогично п.п. 8, 10.

12. ИС-1-СОВ1-2. Аналог п.п. 8-10.

13. ИС-1-АНЗ1-5. Аналог п.п. 8-19.

14. ИС-1- ОЦЛ1-8. Выполнение мер на обновленном экземпляре РМ.

15. ИС-1-ОДТ1-7. Фиксировать доступность на обновляемом экземпляре РМ.
16. ИС-1- ОДТ1-7. Обновить доступность на новом экземпляре РМ.
17. ИС-1- ЗСВ1-10. Обновить параметры виртуализации на новом РМ.
18. ИС-1-ЗСВ1-10. Зафиксировать параметры виртуализации на обновляемом РМ.
19. ИС-1-ЗТС1-5. Обновление используемых технических средств на атакованном РМ.
20. ИС-1-ЗТС1-5. Создание не обновленного РМ с атакованными ТС.
21. ИС-1-ЗИС1-30. Обновление параметров системы управления ИС.
22. ИС-1-ЗИС1-30. Фиксация параметров системы управления на имитационном РМ системы управления.

На атакованной ИС первого класса сложности должны выполняться все позиции с 1 по 22 реконструирования и модификации параметров. На атакованной ИС второго класса сложности должны выполняться нечетные позиции приведенного перечня. На атакованной ИС третьего класса сложности выполняются выборочные позиции перечня. Для четвертого класса сложности выполняются отдельные позиции перечня.

Список литературы

1. Руководящий документ. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации. // Утверждено решением председателя Гостехкомиссии при Президенте РФ от 30.03.1992 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fstec.ru/component/attachments/download/296> (дата обращения: 05.09.2016).
2. Еременко С.П., Можяев О.А., Хитов С.Б. Анализ нормативно-правовой базы для задачи формирования модели и метода оценки результативности СМИБ в организациях МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 4 (36).
3. Еременко С.П., Хитов С.Б. Защищенность сложных систем ситуационных центров МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета МЧС России – 2016. – № 3 (2016).
4. МЧС-2030: современные технологии государственного управления в сфере безопасности жизнедеятельности населения: Стратегия развития МЧС России на период до 2030 года / В.А. Пучков // Семинар с руководящим составом МЧС России 2015 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mchs.gov.ru/upload/site1/document_file/0huAWJ42XI.pdf (дата обращения: 05.09.2016)
5. Еременко С.П., Хитов С.Б. Оценка результативности как важнейший аспект построения системы обеспечения информационной безопасности в системе распределенных ситуационных центров МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2016 – № 2 (2016).
6. Поваров Г. Н. Об уровнях сложности систем. // Сб. Методологические проблемы кибернетики (материалы к Всесоюзной конференции), т.2, М., 1970.
7. Хитов С.Б. Оценка защищенности информационных систем ситуационных центров МЧС России // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 85-89.

ГИБКА ПЛОСКОЙ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ТРУБОФОРМОВОЧНОМ ПРЕССЕ

Шинкин В.Н.

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва

Получен аналитический метод расчета главных технологических параметров гибки толстолистовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer: максимального усилия пуансона пресса при формовке, размера и формы контактной зоны пуансона и заготовки. Результаты исследований могут быть применены при производстве стальных труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов.

Ключевые слова: стальная труба большого диаметра, стальная листовая заготовка, трубоформовочный пресс.

Производство труб большого диаметра. Современные магистральные трубопроводы являются высоконагруженными электросварными конструкциями, работающими в экстремальных условиях под действием высокого внутреннего давления и внешних неблагоприятных условий: низких температур окружающей среды и стресс-коррозии, развивающейся при взаимодействии механических и электрохимических факторов. Ценовые показатели трубопроводов определяются использованием труб из высокопрочных сталей и минимальной металлоемкостью [1–95].

Сварные трубы для магистральных трубопроводов изготавливают прямошовными и спиральношовными, с диаметром 529...1420 мм и толщиной стенки 10...48 мм. Основным сортаментом, принятым «Газпромом» в качестве базового для строительства магистральных газопроводов Северный и Южный поток, Ямал – Центр, Сахалин-1, Сахалин-2 и нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан», являются сварные одношовные прямошовные трубы диаметром до 1420 мм.

В проектах «Газпрома» и «Транснефти» предусматривается применение труб из стали класса прочности X70...X100 с диаметром 1220 и 1420 мм, толщиной стенки до 48 мм, длиной до 18 м, рабочим давлением до 250 атмосфер (24,7 МПа), трехслойным наружным изоляционным антикоррозионным покрытием и внутренним гладкостенным покрытием для прокладки сухопутных и подводных морских участков трубопроводов.

На рынке производства стальных сварных труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки по схеме JCOE, разработанный фирмой SMS Meer [3, 5, 6, 23–33].

За рубежом основными производителями прямошовных одношовных труб по схеме JCOE для магистральных газопроводов диаметром ≥ 1220 мм являются Германия, Италия, Китай и Япония. В России прямошовные одношовные трубы для магистральных газопроводов диаметром ≥ 1220 мм выпускаются на Выксунском, Ижорском и Челябинском заводах.

Последовательность операций гибки стальной заготовки в О-форму на трубоформовочном прессе SMS MEER показана на рис. 1. Сначала заготовка формуется справа налево немного не доходя до ее центра, затем справа налево немного не доходя до ее центра и последний нечетный удар пуансона наносится в центр заготовки. При производстве труб большого диаметра 1020 мм, 1220 мм и 1420 мм обычно используют 17, 19 и 21 ударов пуансона.

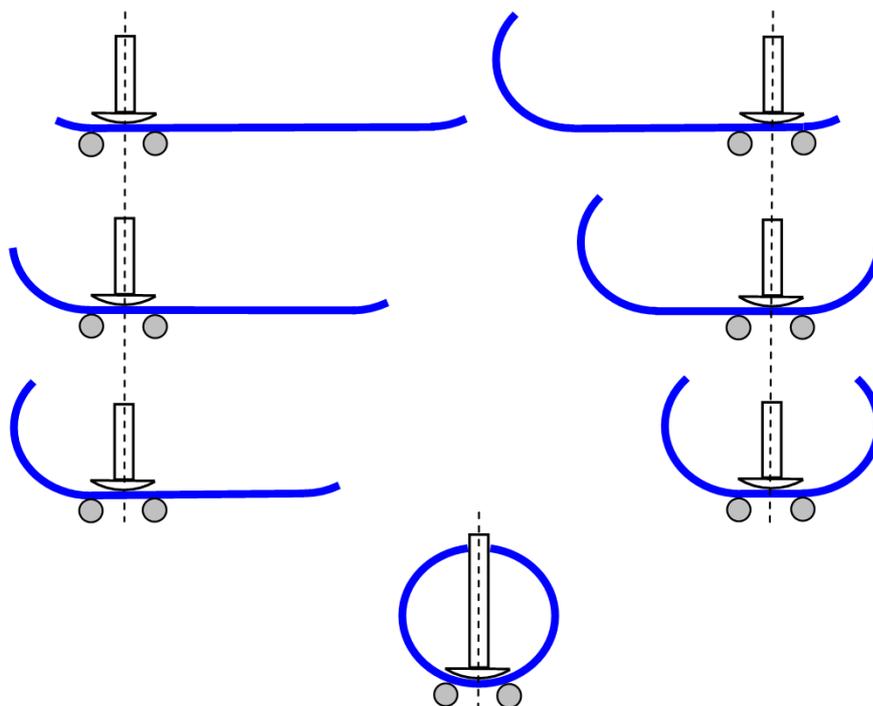


Рис. 1. Гибка стальной заготовки на трубоформовочном прессе

Формовка стальной заготовки на трубоформовочном прессе (ТФП).

Рассмотрим изгиб плоской пластины, опирающейся на закругленные матрицы (бойки), под действием давления пуансона. Пусть H – глубина прогиба (обжатие) листовой заготовки; H_{\max} – максимальная глубина прогиба (обжатие) листовой заготовки до касания матрицы пуансоном; $r_{\text{п}}$ – радиус пуансона; $r_{\text{м}}$ – радиус бойка (матрицы); $P_{\text{шф}}$ – усилие пуансона при пошаговой формовке; R – реакция опоры листовой заготовки и матрицы; α – угол контакта листовой заготовки с матрицей; φ – угол левой и правой зон контакта пуансона и листовой заготовки; L – расстояние между бойками; μ – коэффициент трения скольжения стали; h и b – толщина и длина листовой заготовки; свойства заготовки: $\sigma_{\text{т}}$ – предел текучести; E – модуль Юнга; $\Pi_{\text{р}}$ и $\Pi_{\text{с}}$ – модули упрочнения при растяжении и сжатии; $\rho = r_{\text{п}} + h/2$ и M – радиус кривизны нейтральной плоскости и изгибающий момент листовой заготовки в контактной зоне пуансона и заготовки (рис. 2).

Далее при расчетах формовки стальной заготовки рассматривается реологическая модель упругопластической среды с линейным упрочнением (рис. 3).

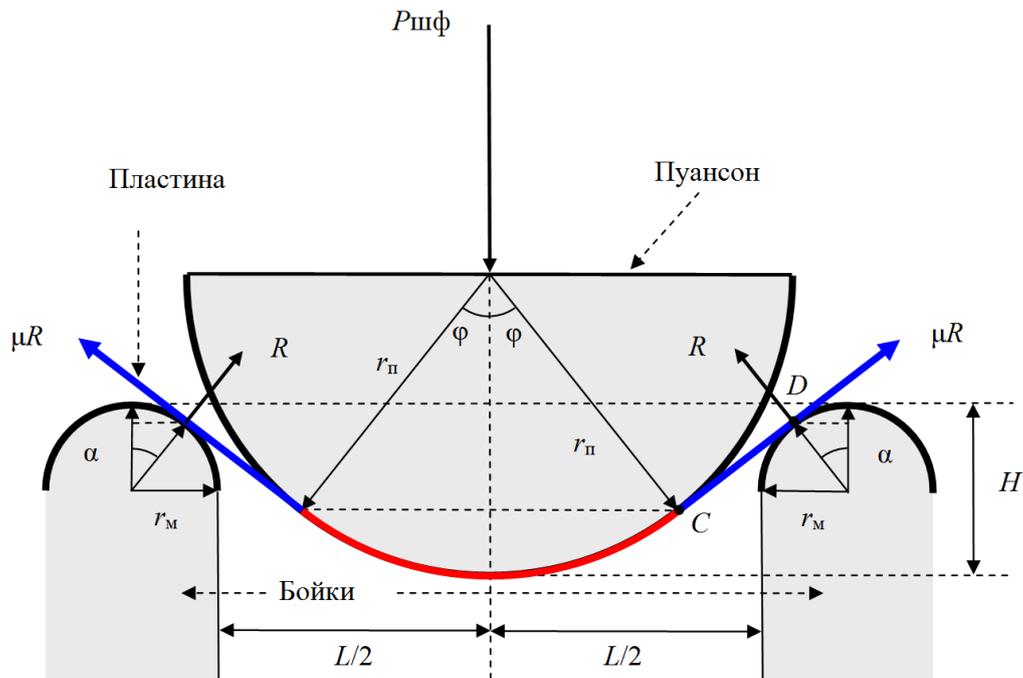


Рис. 2. Схема гибки плоской листовой заготовки

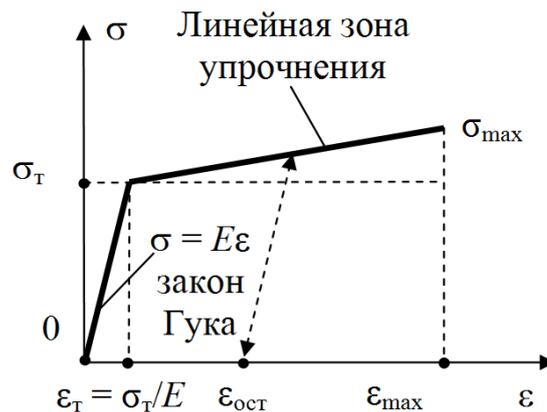


Рис. 3. Реологическая модель линейной упругопластической среды

Изгибающий момент в области контакта пуансона и пластины равен

$$M = \frac{1}{4}bh^2\sigma_T - \frac{1}{3}b\rho^2\frac{\sigma_T^3}{E^2} + \frac{b(\Pi_p + \Pi_c)}{12}\left(\frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E}\right)\left(h^2 - h\rho\frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2\frac{\sigma_T^2}{E^2}\right).$$

Остаточный радиус кривизны пластины и коэффициент пружинения пластины в области контакта с пуансоном определяются из уравнений

$$\beta = \frac{\rho_0}{\rho}, \quad \rho_0 = \beta \rho,$$

$$\beta = \frac{\mu_2}{1 - \left[\frac{3\rho\sigma_T}{hE} - \frac{4\rho^3\sigma_T^3}{h^3E^3} + \frac{\rho(\Pi_p + \Pi_c)}{h^3E} \left(\frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \left(h^2 - h\rho\frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2\frac{\sigma_T^2}{E^2} \right) \right]},$$

$$\frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{\rho} - \frac{3\sigma_T}{hE} + \frac{4\rho^2\sigma_T^3}{h^3E^3} - \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{h^3E} \left(\frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \left(h^2 - h\rho \frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2 \frac{\sigma_T^2}{E^2} \right),$$

где μ_2 – постоянный безразмерный коэффициент, учитывающий динамический эффект деформации оболочки (определяется экспериментальным путем).

Будем предполагать, что при деформации между пуансоном и бойками пластина остается плоской. В этом случае

$$\begin{aligned} \alpha = \varphi, \quad CD &= \frac{\frac{L}{2} + r_M}{\cos \alpha} - (r_{\Pi} + r_M) \operatorname{tg} \alpha, \\ r_{\Pi} - H &= r_{\Pi} \cos \alpha - CD \sin \alpha - r_M (1 - \cos \alpha) = \\ &= r_{\Pi} \cos \alpha - \left(\frac{\frac{L}{2} + r_M}{\cos \alpha} - (r_{\Pi} + r_M) \operatorname{tg} \alpha \right) \sin \alpha - r_M (1 - \cos \alpha), \\ (r_{\Pi} + r_M - H) \cos \alpha &+ \left(\frac{L}{2} + r_M \right) \sin \alpha = (r_{\Pi} + r_M), \\ \alpha = \varphi &= \arcsin \left(\frac{r_{\Pi} + r_M}{\sqrt{(r_{\Pi} + r_M - H)^2 + \left(\frac{L}{2} + r_M \right)^2}} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{r_{\Pi} + r_M - H}{\frac{L}{2} + r_M} \right). \end{aligned}$$

Угол контактной зоны равен $\varphi_k = 2\varphi$. Длина контактной зоны равна $l_k = 2r_{\Pi}\varphi$. Реакцию опоры между пластиной и матрицей находим из уравнения

$$M = R \cdot CD = R \left(\frac{\frac{L}{2} + r_M}{\cos \alpha} - (r_{\Pi} + r_M) \operatorname{tg} \alpha \right), \quad R = \frac{M \cos \alpha}{\frac{L}{2} + r_M - (r_{\Pi} + r_M) \sin \alpha}.$$

Из условия равновесия находим усилие пуансона при пошаговой формовке

$$P_{\text{шф}} = 2R (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) = \frac{2M \cos \alpha (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}{\frac{L}{2} + r_M - (r_{\Pi} + r_M) \sin \alpha}.$$

При касании пуансона матриц $CD = 0$. Максимальную глубину прогиба пластины находим из системы уравнений

$$\begin{aligned} CD &= \frac{\frac{L}{2} + r_M}{\cos \alpha_0} - (r_{\Pi} + r_M) \operatorname{tg} \alpha_0 = 0, \quad \sin \alpha_0 = \frac{\frac{L}{2} + r_M}{r_{\Pi} + r_M}; \\ r_{\Pi} + r_M - H_{\max} &= (r_{\Pi} + r_M) \cos \alpha_0, \quad \cos \alpha_0 = \frac{r_{\Pi} + r_M - H_{\max}}{r_{\Pi} + r_M}, \end{aligned}$$

$$\left(\frac{L}{2} + r_M\right)^2 + (r_{II} + r_M - H_{\max})^2 = (r_{II} + r_M)^2,$$

$$H_{\max} = r_{II} + r_M - \sqrt{(r_{II} + r_M)^2 - \left(\frac{L}{2} + r_M\right)^2}, \quad L \leq 2r_{II}.$$

Если $L > 2r_{II}$, то $H_{\max} = \infty$.

Дефект образования гофра продольной кромки трубной заготовки на КТП SMS Meer изучался в работах [3, 5, 6, 26], вредное влияние остаточных напряжений металла после ТФП SMS Meer на процесс экспандирования трубы – в [3, 5, 6, 35], дефект «точка перегиба» при изгибе трубной заготовки на ТФП SMS Meer – в [3, 5, 6, 36], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы – в [3, 5, 6, 34], дефект трубы «раскатной пригар с риской» – в [3, 5, 6, 37], процессы правки стального листа на многороликовых листопрямильных машинах SMS Siemag и Fagor Arrasate для производства труб – в [3, 5, 6, 64, 65, 67, 69].

Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной поло-

- сы на листопрямой машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямой машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.

34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14–16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7–1. С. 74–78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.

52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 95–102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листоправильной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 102–110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листоправильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 97–106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листоправильной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 106–114.
64. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
65. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.
66. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.
67. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.
69. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.

70. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // *Сталь*. 2015. № 4. С. 38–42.
71. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2015. № 5–6. С. 7–11.
72. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // *Мир науки и инноваций*. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.
73. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // *Мир науки и инноваций*. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.
74. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // *Мир науки и инноваций*. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.
75. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // *Мир науки и инноваций*. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.
76. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // *Научные труды SWorld*. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
77. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // *Научные труды SWorld*. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.
78. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 107–112.
79. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 112–119.
80. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 1–1. С. 131–139.
81. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 2–3. С. 133–141.
82. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 2–3. С. 141–149.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 3–3. С. 127–134.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 3–3. С. 135–143.
85. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 4–4. С. 118–127.
86. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 4–4. С. 127–136.
87. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 5–3. С. 137–146.
88. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров четырехроликовой машины при предварительной правке стального листа // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 5–3. С. 146–154.
89. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа при правке на девятироликовой машине // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 6–1. С. 128–138.
90. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах девятироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 6–1. С. 138–146.

91. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 105–114.
92. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопривальной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 115–125.
93. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 125–134.
94. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 134–142.
95. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. T. 4. С. 60–76.

ГИБКА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СТАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ТРУБОФОРМОВОЧНОМ ПРЕССЕ

Шинкин В.Н.

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва

Получен аналитический метод расчета технологических параметров гибки цилиндрической стальной толстолистовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer: максимального усилия пресса при формовке, размера и формы контактной зоны пуансона и заготовки. Результаты исследований могут быть применены при производстве стальных труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов.

Ключевые слова: стальная труба большого диаметра, стальная листовая заготовка, трубоформовочный пресс.

Формовка цилиндрической заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer. На рынке производства стальных сварных труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки по схеме JCOE, разработанный фирмой SMS Meer [1–95]. За рубежом основными производителями прямошовных одношовных труб по схеме JCOE являются Германия, Италия, Китай и Япония, а в России – Выксунский, Ижорский и Челябинский заводы.

Рассмотрим изгиб стальной цилиндрической заготовки, опирающейся на закругленные матрицы (бойки), под действием давления пуансона пресса (рис. 1). Пусть H – глубина прогиба (обжатие) заготовки при формовке; H_{\max} – максимально возможная глубина прогиба заготовки (до касания пуансона матриц); $r_{\text{п}}$ и $r_{\text{м}}$ радиусы пуансона и матрицы; $\beta_1 r_{\text{п}}$ – радиус недеформируемой части цилиндрической заготовки ($\beta_1 > 1$); $P_{\text{шф}}$ – усилие пуансона при формовке; R_1 – реакция опоры заготовки и матрицы; α_1 – угол контакта заго-

товки с матрицами; φ_1 – угол левой и правой зон контакта пуансона и заготовки; L – расстояние между матрицами; μ – коэффициент силы трения скольжения; h и b – толщина и ширина заготовки; σ_T – предел текучести; E – модуль Юнга; Π_p и Π_c – модули упрочнения при растяжении и сжатии; $\rho = r_{\pi} + h/2$ – радиус кривизны нейтральной плоскости заготовки.

Изгибающий момент в области контакта пуансона и пластины равен [3–6]

$$M = \frac{1}{4}bh^2\sigma_T - \frac{1}{3}b\rho^2\frac{\sigma_T^3}{E^2} + \frac{b(\Pi_p + \Pi_c)}{12}\left(\frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E}\right)\left(h^2 - h\rho\frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2\frac{\sigma_T^2}{E^2}\right).$$

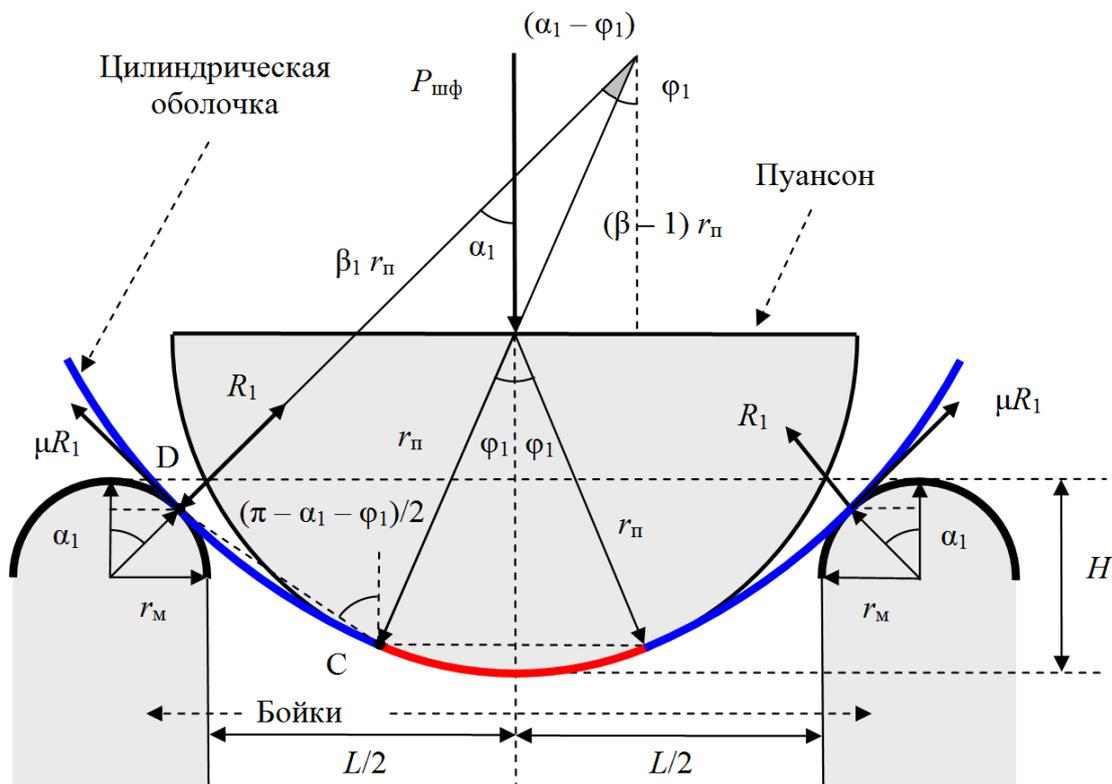


Рис. 1. Схема гибки цилиндрической листовой заготовки

Остаточный радиус кривизны пластины и коэффициент пружинения пластины в области контакта с пуансоном определяются из уравнений [3, 5, 6]

$$\beta = \frac{\rho_0}{\rho}, \quad \rho_0 = \beta \rho,$$

$$\beta = \frac{\mu_2}{1 - \left[\frac{3\rho\sigma_T}{hE} - \frac{4\rho^3\sigma_T^3}{h^3E^3} + \frac{\rho(\Pi_p + \Pi_c)}{h^3E} \left(\frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \left(h^2 - h\rho\frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2\frac{\sigma_T^2}{E^2} \right) \right]},$$

$$\frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{\rho} - \frac{3\sigma_T}{hE} + \frac{4\rho^2\sigma_T^3}{h^3E^3} - \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{h^3E} \left(\frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \left(h^2 - h\rho\frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2\frac{\sigma_T^2}{E^2} \right),$$

где μ_2 – постоянный безразмерный коэффициент, учитывающий скорость деформации оболочки (определяется экспериментальным путем).

Будем предполагать, что при деформации между пуансоном и бойками

оболочка остается исходной цилиндрической оболочкой. В этом случае

$$\begin{aligned}
CD &= 2\beta_1 r_{\Pi} \sin\left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2}\right), \quad \frac{L}{2} + r_M = r_M \sin \alpha_1 + CD \cos\left(\frac{\alpha_1 + \varphi_1}{2}\right) + r_{\Pi} \sin \varphi_1 = \\
&= r_M \sin \alpha_1 + 2\beta_1 r_{\Pi} \sin\left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha_1 + \varphi_1}{2}\right) + r_{\Pi} \sin \varphi_1 = \\
&= r_M \sin \alpha_1 + \beta_1 r_{\Pi} (\sin \alpha_1 - \sin \varphi_1) + r_{\Pi} \sin \varphi_1 = (r_M + \beta_1 r_{\Pi}) \sin \alpha_1 - (\beta_1 - 1) r_{\Pi} \sin \varphi_1, \\
H &= r_M (1 - \cos \alpha_1) + CD \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1 + \varphi_1}{2}\right) + r_{\Pi} (1 - \cos \varphi_1) = \\
&= r_M (1 - \cos \alpha_1) + 2\beta_1 r_{\Pi} \sin\left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha_1 + \varphi_1}{2}\right) + r_{\Pi} (1 - \cos \varphi_1) = \\
&= r_M (1 - \cos \alpha_1) + \beta_1 r_{\Pi} (\cos \varphi_1 - \cos \alpha_1) + r_{\Pi} (1 - \cos \varphi_1) = \\
&= r_M + r_{\Pi} - (\beta_1 r_{\Pi} + r_M) \cos \alpha_1 + (\beta_1 - 1) r_{\Pi} \cos \varphi_1.
\end{aligned}$$

Таким образом, для определения углов α_1 и φ_1 мы получили следующую систему двух нелинейных уравнений

$$\begin{aligned}
r_{\Pi} + r_M - H &= (\beta_1 r_{\Pi} + r_M) \cos \alpha_1 - r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \cos \varphi_1, \\
\frac{L}{2} + r_M &= (\beta_1 r_{\Pi} + r_M) \sin \alpha_1 - r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \sin \varphi_1.
\end{aligned}$$

Откуда

$$\begin{aligned}
&(r_{\Pi} + r_M - H)^2 + \left(\frac{L}{2} + r_M\right)^2 = \\
&= (\beta_1 r_{\Pi} + r_M)^2 + r_{\Pi}^2 (\beta_1 - 1)^2 - 2(\beta_1 r_{\Pi} + r_M) r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \cos(\alpha_1 - \varphi_1), \\
\cos(\alpha_1 - \varphi_1) &= \frac{(\beta_1 r_{\Pi} + r_M)^2 + r_{\Pi}^2 (\beta_1 - 1)^2 - (r_{\Pi} + r_M - H)^2 - \left(\frac{L}{2} + r_M\right)^2}{2(\beta_1 r_{\Pi} + r_M) r_{\Pi} (\beta_1 - 1)}, \\
\varphi_{10} = \alpha_1 - \varphi_1 &= \arccos \left(\frac{(\beta_1 r_{\Pi} + r_M)^2 + r_{\Pi}^2 (\beta_1 - 1)^2 - (r_{\Pi} + r_M - H)^2 - \left(\frac{L}{2} + r_M\right)^2}{2(\beta_1 r_{\Pi} + r_M) r_{\Pi} (\beta_1 - 1)} \right),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{L}{2} + r_M &= (\beta_1 r_{\Pi} + r_M) \sin(\varphi_1 + \varphi_{10}) - r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \sin \varphi_1 = \\
&= (\beta_1 r_{\Pi} + r_M) (\sin \varphi_1 \cos \varphi_{10} + \cos \varphi_1 \sin \varphi_{10}) - r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \sin \varphi_1 = \\
&= ((\beta_1 r_{\Pi} + r_M) \cos \varphi_{10} - r_{\Pi} (\beta_1 - 1)) \sin \varphi_1 + (\beta_1 r_{\Pi} + r_M) \sin \varphi_{10} \cos \varphi_1, \\
\varphi_{20} &= \arcsin \left(\frac{(\beta_1 r_{\Pi} + r_M) \sin \varphi_{10}}{\sqrt{(\beta_1 r_{\Pi} + r_M)^2 - 2(\beta_1 r_{\Pi} + r_M) r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \cos \varphi_{10} + r_{\Pi}^2 (\beta_1 - 1)^2}} \right),
\end{aligned}$$

$$\frac{L}{2} + r_M = \sqrt{(\beta_1 r_{\Pi} + r_M)^2 - 2(\beta_1 r_{\Pi} + r_M) r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \cos \varphi_{10} + r_{\Pi}^2 (\beta_1 - 1)^2} \sin(\varphi_1 + \varphi_{20}),$$

$$\varphi_1 = -\varphi_{20} + \arcsin \left(\frac{\frac{L}{2} + r_m}{\sqrt{(\beta_1 r_n + r_m)^2 - 2(\beta_1 r_n + r_m) r_n (\beta_1 - 1) \cos \varphi_{10} + r_n^2 (\beta_1 - 1)^2}} \right),$$

$$\alpha_1 = \varphi_1 + \varphi_{10}.$$

Угол контактной зоны равен $\varphi_k = 2\varphi_1$. Длина контактной зоны равна $l_k = 2r_n \varphi_1$. Реакцию опоры между цилиндрической оболочкой и матрицей находим из уравнения

$$\begin{aligned} M &= CD \cdot R_1 \left(\cos \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) + \mu \sin \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \right) = \\ &= 2\beta_1 r_n \sin \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \left(\cos \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) + \mu \sin \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \right) R_1, \\ R_1 &= \frac{M}{2\beta_1 r_n \sin \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \left(\cos \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) + \mu \sin \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \right)}. \end{aligned}$$

Из условия равновесия находим усилие пуансона при пошаговой формовке

$$\begin{aligned} P_{\text{шф}} &= 2R_1 (\cos \alpha_1 + \mu \sin \alpha_1) = \\ &= \frac{M (\cos \alpha_1 + \mu \sin \alpha_1)}{\beta_1 r_n \sin \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \left(\cos \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) + \mu \sin \left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2} \right) \right)}. \end{aligned}$$

При касании пуансона матриц $CD = 0$. Максимальная глубина прогиба пластины равна

$$H_{\text{max}} = r_n + r_m - \sqrt{(r_n + r_m)^2 - \left(\frac{L}{2} + r_m \right)^2}, \quad L \leq 2r_n.$$

Если $L > 2r_n$, то $H_{\text{max}} = \infty$.

Дефект образования гофра продольной кромки трубной заготовки на КГП SMS Meer изучался в работах [3, 5, 6, 26], вредное влияние остаточных напряжений металла после ТФП SMS Meer на процесс экспандирования трубы – в [3, 5, 6, 35], дефект «точка перегиба» при изгибе трубной заготовки на ТФП SMS Meer – в [3, 5, 6, 36], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы – в [3, 5, 6, 34], дефект трубы «раскатной пригар с риской» – в [3, 5, 6, 37], процессы правки стального листа на многороликовых листопрямильных машинах SMS Siemag и Fagor Arrasate для производства труб – в [3, 5, 6, 64, 65, 67, 69].

Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.

4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Соппротивление материалов для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатирроликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатирроликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.

25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 1. С. 54–58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 4. С. 14–22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 6. С. 53–56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2011. № 9. С. 45–49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидротиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 10. С. 12–19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. С. 14–16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7–1. С. 74–78.

44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного прессы SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семирولیковой листопрямляющей машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 95–102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листопрямляющей машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 102–110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатирولی-

ковой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 97–106.

63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 106–114.

64. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.

65. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.

66. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.

67. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.

68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.

69. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.

70. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.

71. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 7–11.

72. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.

73. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.

74. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.

75. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.

76. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.

77. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.

78. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 107–112.

79. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 112–119.

80. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.

81. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.

82. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
85. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.
86. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.
87. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.
88. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров четырехроликовой машины при предварительной правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 146–154.
89. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа при правке на девятироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 128–138.
90. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах девятироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 138–146.
91. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 105–114.
92. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 115–125.
93. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 125–134.
94. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 134–142.
95. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60–76.

К ВОПРОСУ О КРИВИЗНЕ ЛИСТА ПРИ ПРАВКЕ В ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ

Шинкин В.Н.

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва

Получен аналитический метод расчета технологических параметров холодной правки толстого стального листа на десятироликовой листопрямительной машине. Расчеты

позволяют определить вид и кривизну нейтральной линии стального листа при правке, а также остаточную кривизну листа после правки в зависимости от радиуса рабочих роликов, шага между роликами листопрямительной машины, величины обжатия листа верхними роликами, толщины листа, а также модуля Юнга, предела текучести и модуля упругости металла листа. Результаты исследований могут быть использованы на машиностроительных и металлургических заводах.

Ключевые слова: горячекатаный стальной рулон, остаточные напряжения, кривизна листа, многороликовые листопрямительные машины, упругопластическая среда.

Введение. При расчетах мощности электродвигателей приводов многороликовых листопрямительных машин в работе [1] постулируется, что изгибающие моменты стального листа на внутренних рабочих роликах одинаковы и равны полусумме моментов при чисто упругом и чисто пластическом изгибе листа. В действительности изгибающие моменты листа на роликах непостоянны и существенно изменяются от ролика к ролику.

Основная задача технологов при правке стального листа заключается в расчете оптимальных режимов его обжатия роликами листопрямительных машин таким образом, чтобы на выходе из машины лист имел минимальные остаточные напряжения и кривизну (рис. 1) [2–95]. Для этого надо точно знать кривизну листа на рабочих роликах машины при правке листа. Решению этой задачи и посвящена данная работа на примере десятироликовой правильной машины для холодной правки стального листа. Правка стального листа осуществляется десятью приводными правильными роликами – 5-тью верхними правильными роликами и 5-тью нижними правильными роликами. Нижние входные и выходные правильные ролики снабжены отдельными системами настройки их вертикального положения [3, 5, 6].

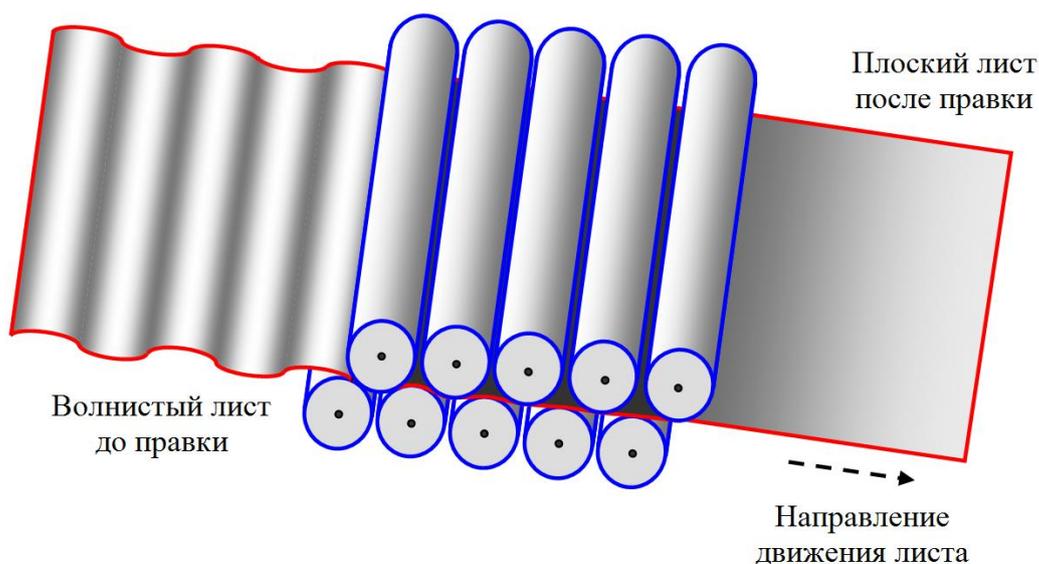


Рис. 1. Правка волнистости листа на десятироликовой машине

Коэффициент пружинения при изгибе. Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны ρ равен [3, 5, 6]

$$\beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2\frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)}$$

Для высокопрочных трубных сталей $\Pi_c \approx \Pi_p = \Pi$.

Математическая модель правки листа. Пусть $H_2, H_4, H_6, H_8, H_{10}$ – величины обжатия срединной поверхности стального листа рабочими роликами верхней кассеты. Не ограничивая общности будем считать, что нижние рабочие ролики неподвижны ($H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = H_9 = 0$). Пусть t – шаг между нижними рабочими роликами, h – толщина стального листа, R – радиус рабочих роликов, $R_0 = R + h/2$; σ_T , E , Π_p и Π_c – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии; ρ_i и $\varepsilon_i = 1/\rho_i$ – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами, φ_i – углы точек касания листа и роликов ($i = 1 \dots 10$) (рис. 2).

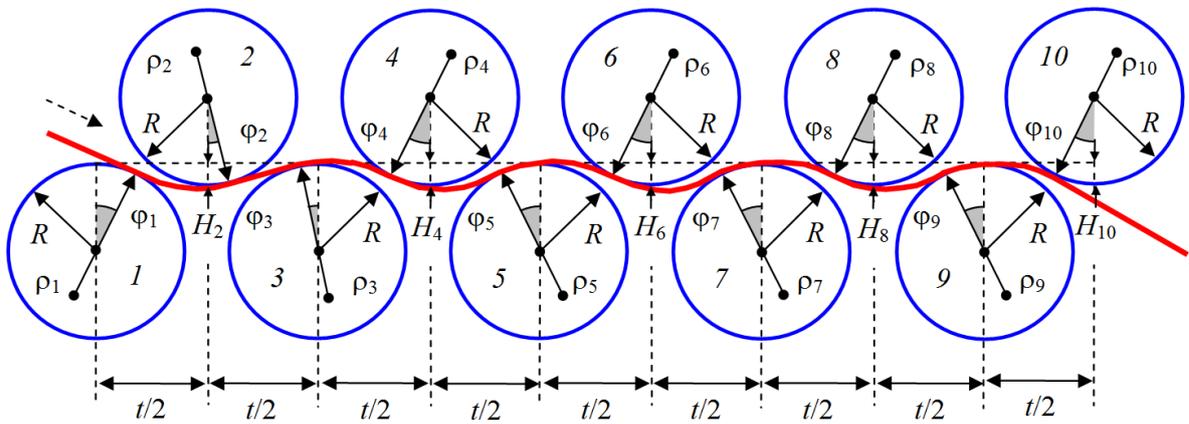


Рис. 2. Кинематическая схема правки листа между рабочими роликами

Введем десять локальных прямоугольных декартовых систем координат $y-z$ в точках касания листа с рабочими роликами листоправильной машины. Оси z направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси y – перпендикулярно к оси z в сторону центров соответствующих роликов. Будем аппроксимировать в этих системах координат нейтральную линию листа (между соседними точками касания листа и роликов) с помощью кубических полиномов вида $y(z) = a z^2 - b z^3$ (метод Шинкина). Обозначим a_i и b_i – коэффициенты кубических полиномов в i -ой системе координат ($i = 1 \dots 10$). Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках касания листа с роликами:

Первый и второй ролики

$$z_2 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1,$$

$$y_2 = - \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \cos \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\varepsilon_{1,2} = 2a_1, \quad \rho_{1,2} = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_{2,1} = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2,1} = \frac{1}{\varepsilon_{2,1}};$$

Второй и третий ролики

$$z_3 = \left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \cos \varphi_3\right) \cos \varphi_2 +$$

$$+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2,$$

$$y_3 = -\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \cos \varphi_3\right) \sin \varphi_2 +$$

$$+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_{2,3} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{2,3} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{3,2} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{3,2} = \frac{1}{\varepsilon_{3,2}};$$

(2j - 1)-ый и 2j-ый ролики (j = 2, 3, 4, 5)

$$z_{2j} = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j-1} - R_0 \cos \varphi_{2j}\right) \cos \varphi_{2j-1} -$$

$$- [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j-1}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j})] \sin \varphi_{2j-1},$$

$$y_{2j} = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j-1} - R_0 \cos \varphi_{2j}\right) \sin \varphi_{2j-1} +$$

$$+ [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j-1}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j})] \cos \varphi_{2j-1},$$

$$a_{2j-1} = \frac{3y_{2j} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j-1} + \varphi_{2j})z_{2j}}{z_{2j}^2}, \quad b_{2j-1} = \frac{2y_{2j} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j-1} + \varphi_{2j})z_{2j}}{z_{2j}^3},$$

$$\varepsilon_{2j-1,2j} = 2a_{2j-1}, \quad \rho_{2j-1} = \rho_{2j-1,2j} = \frac{1}{2a_{2j-1}},$$

$$\varepsilon_{2j,2j-1} = \frac{2a_{2j-1} - 6b_{2j-1}z_{2j}}{\left[1 + (2a_{2j-1}z_{2j} - 3b_{2j-1}z_{2j}^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2j,2j-1} = \frac{1}{\varepsilon_{2j,2j-1}};$$

2j-ый и (2j + 1)-ый ролики (j = 2, 3, 4)

$$z_{2j+1} = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j} - R_0 \cos \varphi_{2j+1}\right) \cos \varphi_{2j} -$$

$$- [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j+1})] \sin \varphi_{2j},$$

$$y_{2j+1} = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j} - R_0 \cos \varphi_{2j+1} \right) \sin \varphi_{2j} + \\ + [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j+1})] \cos \varphi_{2j},$$

$$a_{2j} = \frac{3y_{2j+1} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j} + \varphi_{2j+1})z_{2j+1}}{z_{2j+1}^2}, \quad b_{2j} = \frac{2y_{2j+1} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j} + \varphi_{2j+1})z_{2j+1}}{z_{2j+1}^3},$$

$$\varepsilon_{2j,2j+1} = 2a_{2j}, \quad \rho_{2j} = \rho_{2j,2j+1} = \frac{1}{2a_{2j}},$$

$$\varepsilon_{2j+1,2j} = \frac{2a_{2j} - 6b_{2j}z_{2j+1}}{\left[1 + (2a_{2j}z_{2j+1} - 3b_{2j}z_{2j+1}^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2j+1,2j} = \frac{1}{\varepsilon_{2j+1,2j}}.$$

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{1,2} = \rho_1; \quad \rho_{j,j-1} = -\rho_{j,j+1}, \quad j = 2, \dots, 9; \quad \rho_{10} = \rho_{10,9} = \beta(\rho_{9,10})\rho_{9,10}.$$

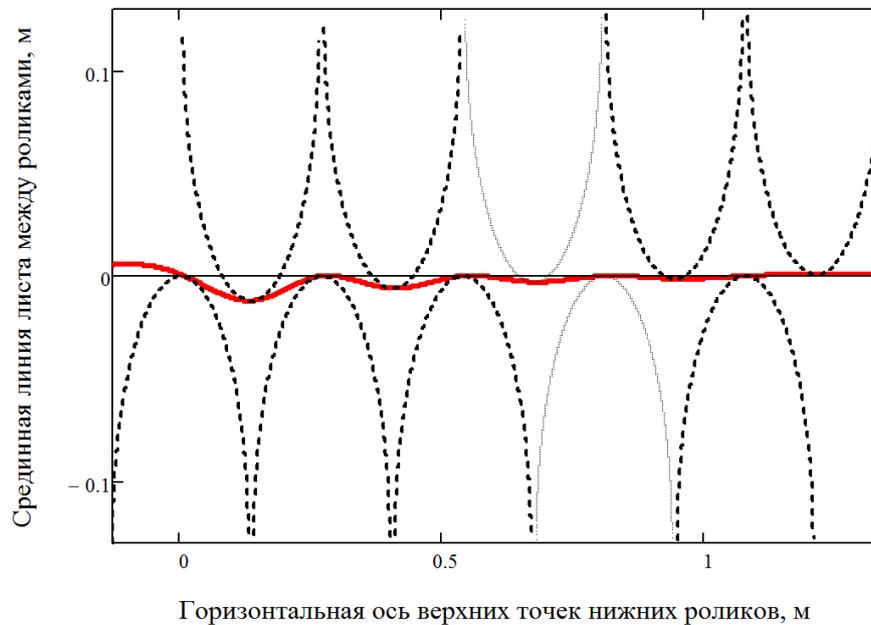


Рис. 3. Прогиб листа при правке на десятироликовой машине

Результаты расчетов. При $t = 0,270$ м, $R = 0,125$ м, $h = 0,010$ м, $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$ Па, $H_2 = 12$ мм, $H_4 = 6$ мм, $H_6 = 3$ мм, $H_8 = 1,5$ мм, $H_{10} = -0,75$ мм и $\rho_1 = -1$ м получаем, что $\rho_2 = 0,320$ м, $\rho_3 = -0,355$ м, $\rho_4 = 0,489$ м, $\rho_5 = -0,665$ м, $\rho_6 = 0,953$ м, $\rho_7 = -1,334$ м, $\rho_8 = 2,092$ м, $\rho_9 = -5,580$ м, $\rho_{10} > 1000$ м. Результаты расчетов показаны на рис. 3 и 4. Точки локальных экстремумов кривизны соответствуют точкам касания листа с рабочими роликками правильной машины.

При правильном подборе обжатий листа роликками и не очень большой начальной кривизне стальные листы при правке быстро «забывают» о своей первоначальной кривизне и после 4-го ролика кривизна всех листов становится практически одинаковой [3, 5, 6]. Для этого величина обжатия листа первыми четырьмя роликками должна достигнуть некоторого

оптимального значения, а доля пластической деформации по толщине листа должна составлять от 67% до 80%. Величину обжатия нейтральной плоскости листа на последнем верхнем 10-ом ролике подбирают так, чтобы свести кривизну листа на выходе из листопрямляющей машины практически к нулю. При этом остаточные напряжения в стенке листа также значительно уменьшаются.

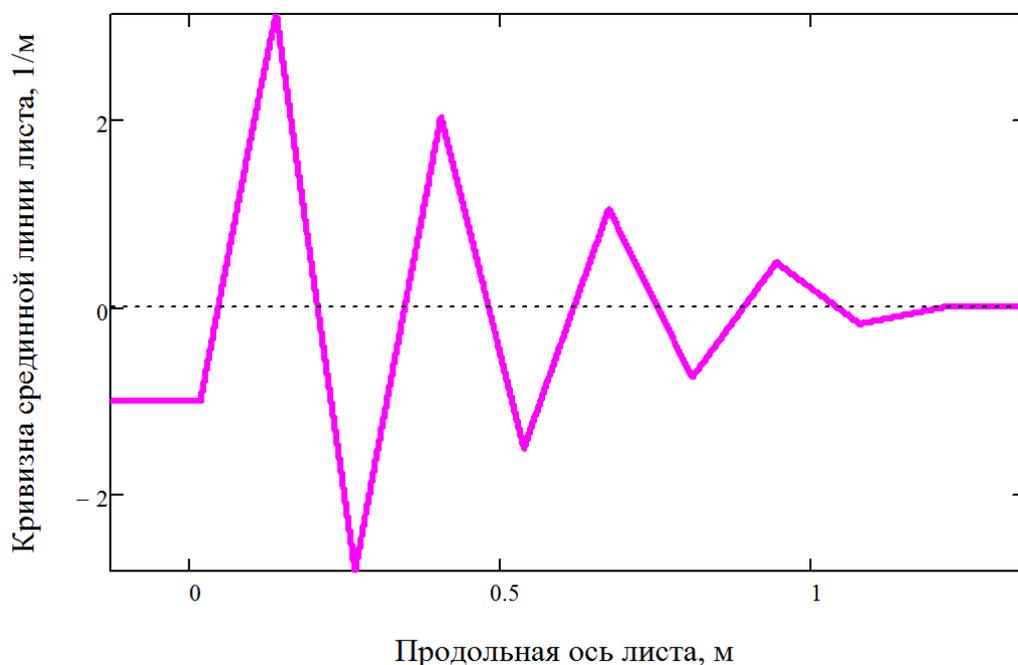


Рис. 4. Кривизна листа при правке на десятироликовой машине

Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.

10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямильной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гид-

- роиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. С. 14–16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7–1. С. 74–78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11–1. С. 257–262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на один-

- надцатироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 95–102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листопрямительной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 102–110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 97–106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 106–114.
64. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
65. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.
66. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного прессы SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.
67. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на

одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.

68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.

69. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.

70. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.

71. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 7–11.

72. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.

73. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.

74. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.

75. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.

76. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.

77. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.

78. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 107–112.

79. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 112–119.

80. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.

81. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.

82. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.

83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.

84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.

85. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.

86. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.

87. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.

88. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров четырехроликовой машины при предварительной правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 146–154.

89. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа при правке на десятироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 128–138.

90. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах десятироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 138–146.

91. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 105–114.

92. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 115–125.

93. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 125–134.

94. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 134–142.

95. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60–76.

К ВОПРОСУ О СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРАХ ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРАВКЕ СТАЛЬНОГО ЛИСТА

Шинкин В.Н.

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, г. Москва

Получен аналитический метод расчета силовых параметров холодной правки толстого стального листа на десятироликовой листопрямительной машине. Расчеты позволяют определить реакции опор рабочих роликов машины, усилия верхней и нижней кассет роликов, а также изгибающие моменты поперечного сечения стального листа. Результаты исследований могут быть использованы на машиностроительных и металлургических заводах.

Ключевые слова: горячекатаный стальной рулон, многороликовые листопрямительные машины, реакции опор рабочих роликов, упругопластическая среда.

Введение. В первой части работы была предложена методика определения формы и кривизны ε (радиуса кривизны ρ) стального листа при правке на десятироликовой листопрямительной машине. Во второй части работы мы подробно рассмотрим методику определения изгибающих моментов и остаточных напряжений, а также реакций опор рабочих роликов в десятироликовой листопрямительной машине.

Изгибающий момент при правке стального листа [1–95]. Пусть H_i – величина обжатия i -го рабочего ролика, h – толщина листа, R – радиус рабочих роликов, $R_0 = R + h/2$, t – шаг между рабочими роликами: σ_T , E , Π_p и Π_c – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии; ρ_i и $\varepsilon_i = 1/\rho_i$ – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами, φ_i – углы точек касания листа и роликов ($i = 1 \dots 10$). Пусть нижние рабочие ролики лежат на одном горизонтальном уровне: $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = H_9 = 0$ м (рис. 1).

При упругом изгибе листа ($\rho \geq \rho_T = hE/(2\sigma_T)$) коэффициент пружинения листа $\beta(\rho) = \infty$. При пластическом изгибе ($\rho < \rho_T = hE/(2\sigma_T)$)

$$\beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2\frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)}.$$

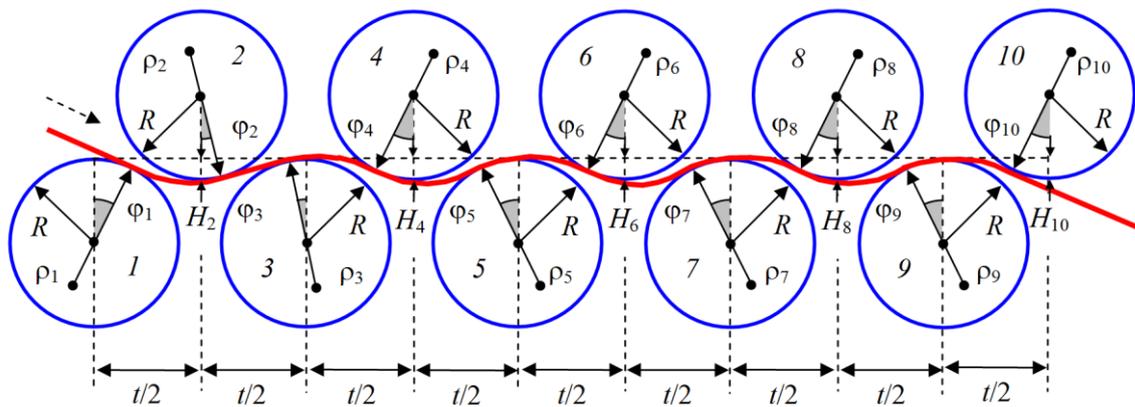


Рис. 1. Форма листа между десятью рабочими роликами

При пластическом изгибе листа изгибающий момент [3, 5, 6]

$$M(\rho) = \frac{bh^2\sigma_T}{12} \left(3 - 4\left(\frac{\sigma_T\rho}{Eh}\right)^2\right) + \frac{bh^3(\Pi_p + \Pi_c)}{24\rho} \left(1 - 2\frac{\sigma_T\rho}{Eh}\right)^2 \left(1 + \frac{\sigma_T\rho}{Eh}\right),$$

где b – ширина листа. Для сталей $\Pi_c \approx \Pi_p = \Pi$.

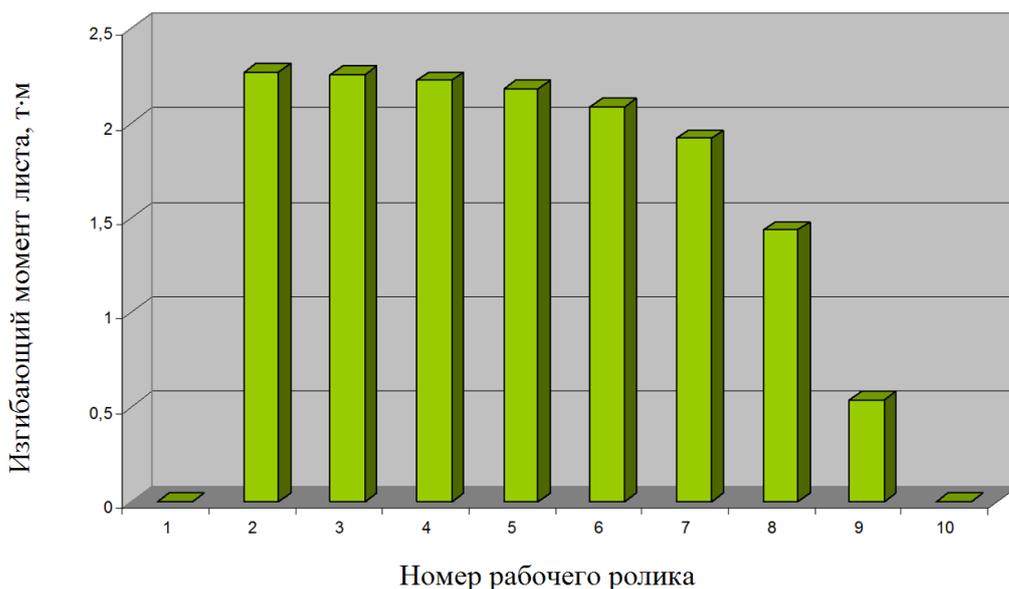


Рис. 2. Изгибающие моменты листа в точках касания с роликами

При упругом изгибе листа [1, 3, 5, 6]

$$M(\rho) = \frac{bh^3E}{12\rho}.$$

Пусть M_i – изгибающие моменты листа в точках касания с роликами (рис. 2):

$$\begin{aligned} M_1 &= 0, & M_2 &= M(\rho_2), & M_3 &= -M(\rho_3), & M_4 &= M(\rho_4), \\ M_5 &= -M(\rho_5), & M_6 &= M(\rho_6), & M_7 &= -M(\rho_7), \\ M_8 &= M(\rho_8), & M_9 &= -M(\rho_9), & M_{10} &= 0. \end{aligned}$$

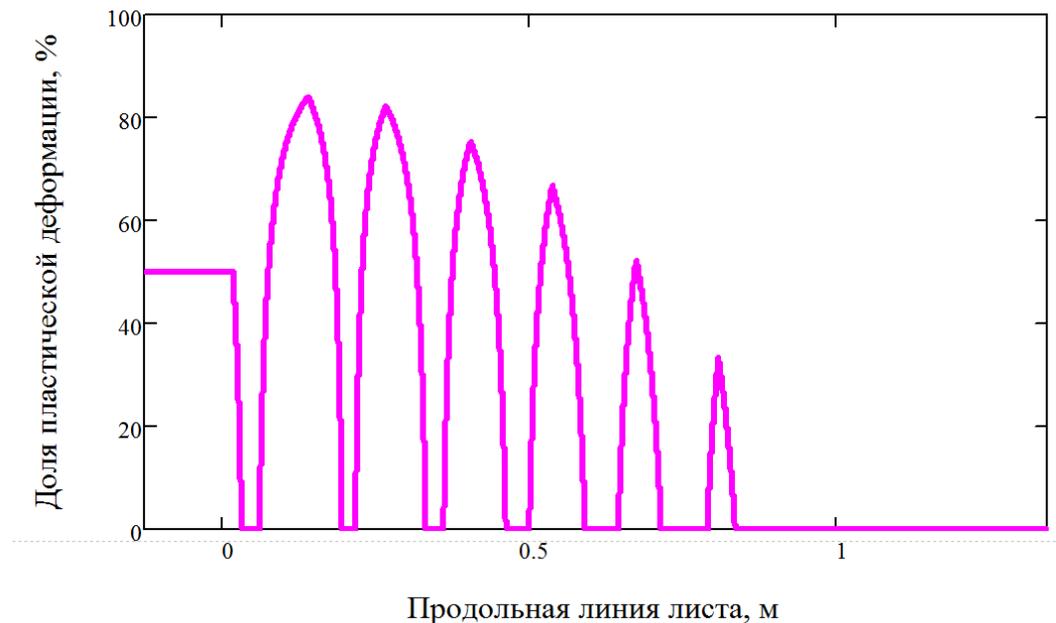


Рис. 3. Доля пластической деформации по толщине листа

Доля пластическая деформация по толщине листа при изгибе. Доля пластической деформации по толщине листа равна

$$\eta = \left\{ 1 - \frac{2\sigma_T \rho}{Eh}, \text{ если } \rho \leq \frac{Eh}{2\sigma_T}; \quad 0, \text{ если } \rho > \frac{Eh}{2\sigma_T} \right\}.$$

Относительная деформация поверхностных продольных волокон равна

$$\eta_{\text{прв}} = \frac{h}{2|\rho|}.$$

Численные расчеты для доли пластической деформации по толщине листа и относительной деформации поверхностных продольных волокон в десятироликовой машине при $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $R = 0,125$ м, $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$ Па, $h = 0,010$ м, $t = 0,270$ м, $\rho_1 = -1$ м, $H_{10} = -0,75$ мм, $H_8 = 1,5$ мм, $H_6 = 3$ мм, $H_4 = 6$ мм и $H_2 = 12$ мм показаны на рис. 3 и 4.

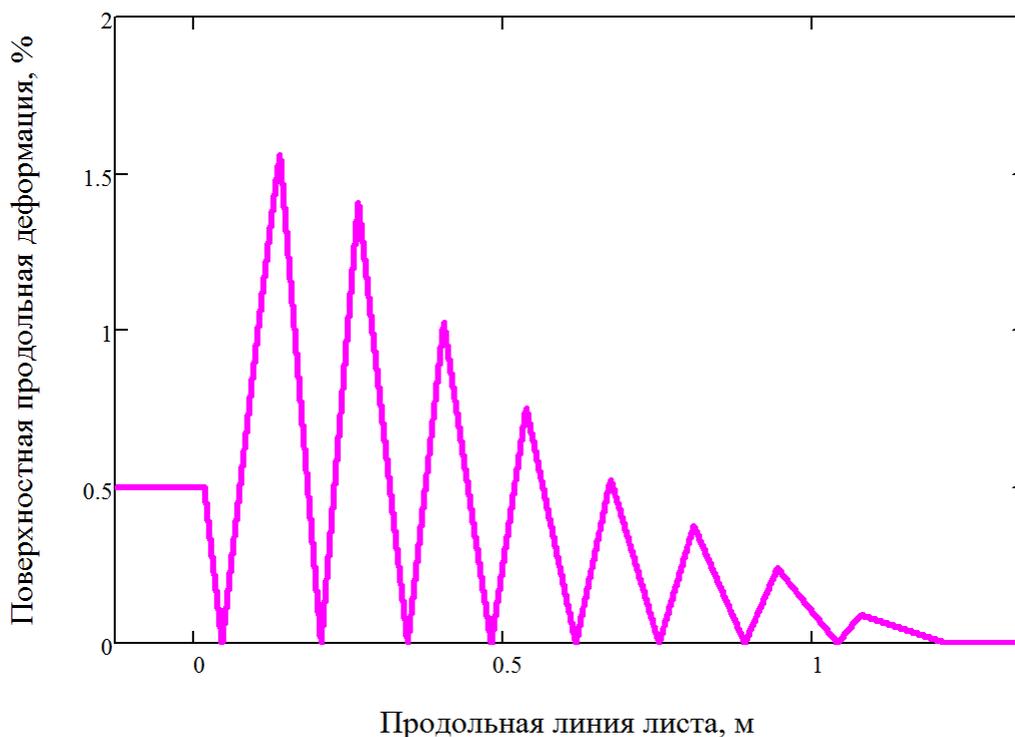


Рис. 4. Относительная деформация поверхностных продольных волокон

Расчет силовых параметров десятироликовой листопрямительной машины. Пусть N_i , M_{pi} и F_{pi} ($F_{pi} = M_{pi}/R$) – соответственно реакция опоры, вращательный момент (передаваемый от редуктора) и подающее усилие (сила подачи) i -го ролика ($i = 1 \dots 10$) (рис. 5).

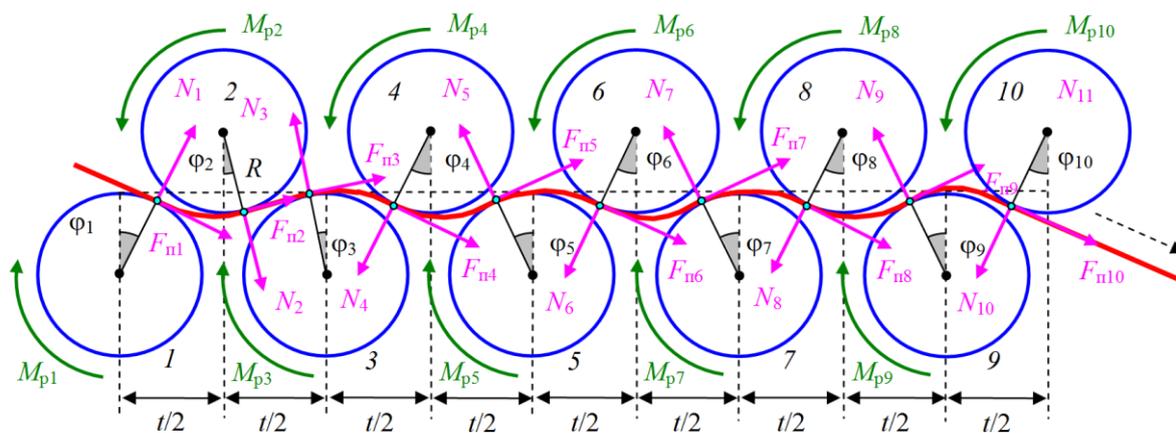


Рис. 5. Силовые факторы, действующие на лист

Построим десять систем координат $y-z$ в точках касания листа с роликами [3, 5, 6]. Оси y направим по радиусу роликов к их центру, а оси z – по касательной к поверхности роликов слева направо. Пусть y_{ji} и z_{ji} – координаты точек касания листа с j -ым роликом в i -ой системе координат.

$$\Delta z_{21} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2, \quad \Delta y_{21} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2),$$

$$z_{21} = \Delta z_{21} \cos \varphi_1 + \Delta y_{21} \sin \varphi_1, \quad y_{21} = -\Delta z_{21} \sin \varphi_1 + \Delta y_{21} \cos \varphi_1,$$

$$\Delta z_{32} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3, \quad \Delta y_{32} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3),$$

$$\begin{aligned}
z_{32} &= \Delta z_{32} \cos \varphi_2 + \Delta y_{32} \sin \varphi_2, & y_{32} &= -\Delta z_{32} \sin \varphi_2 + \Delta y_{32} \cos \varphi_2, \\
\Delta z_{43} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_3 - R_0 \sin \varphi_4, & \Delta y_{43} &= H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4), \\
z_{43} &= \Delta z_{43} \cos \varphi_3 - \Delta y_{43} \sin \varphi_3, & y_{43} &= \Delta z_{43} \sin \varphi_3 + \Delta y_{43} \cos \varphi_3, \\
\Delta z_{54} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_4 - R_0 \sin \varphi_5, & \Delta y_{54} &= H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_4) - R_0(1 - \cos \varphi_5), \\
z_{54} &= \Delta z_{54} \cos \varphi_4 - \Delta y_{54} \sin \varphi_4, & y_{54} &= \Delta z_{54} \sin \varphi_4 + \Delta y_{54} \cos \varphi_4, \\
\Delta z_{65} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_5 - R_0 \sin \varphi_6, & \Delta y_{65} &= H_6 - R_0(1 - \cos \varphi_5) - R_0(1 - \cos \varphi_6), \\
z_{65} &= \Delta z_{65} \cos \varphi_5 - \Delta y_{65} \sin \varphi_5, & y_{65} &= \Delta z_{65} \sin \varphi_5 + \Delta y_{65} \cos \varphi_5, \\
\Delta z_{76} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_6 - R_0 \sin \varphi_7, & \Delta y_{76} &= H_6 - R_0(1 - \cos \varphi_6) - R_0(1 - \cos \varphi_7), \\
z_{76} &= \Delta z_{76} \cos \varphi_6 - \Delta y_{76} \sin \varphi_6, & y_{76} &= \Delta z_{76} \sin \varphi_6 + \Delta y_{76} \cos \varphi_6, \\
\Delta z_{87} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_7 - R_0 \sin \varphi_8, & \Delta y_{87} &= H_8 - R_0(1 - \cos \varphi_7) - R_0(1 - \cos \varphi_8), \\
z_{87} &= \Delta z_{87} \cos \varphi_7 - \Delta y_{87} \sin \varphi_7, & y_{87} &= \Delta z_{87} \sin \varphi_7 + \Delta y_{87} \cos \varphi_7, \\
\Delta z_{98} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_8 - R_0 \sin \varphi_9, & \Delta y_{98} &= H_8 - R_0(1 - \cos \varphi_8) - R_0(1 - \cos \varphi_9), \\
z_{98} &= \Delta z_{98} \cos \varphi_8 - \Delta y_{98} \sin \varphi_8, & y_{98} &= \Delta z_{98} \sin \varphi_8 + \Delta y_{98} \cos \varphi_8, \\
\Delta z_{109} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_9 - R_0 \sin \varphi_{10}, & \Delta y_{109} &= H_{10} - R_0(1 - \cos \varphi_9) - R_0(1 - \cos \varphi_{10}), \\
z_{109} &= \Delta z_{109} \cos \varphi_9 - \Delta y_{109} \sin \varphi_9, & y_{109} &= \Delta z_{109} \sin \varphi_9 + \Delta y_{109} \cos \varphi_9.
\end{aligned}$$

Проекции главных векторов сил в точках касания листа с роликами:

$$\begin{aligned}
F_{01y} &= N_1 \cos \varphi_1 - F_{n1} \sin \varphi_1, & F_{01z} &= N_1 \sin \varphi_1 + F_{n1} \cos \varphi_1, \\
F_{02y} &= F_{01y} - N_2 \cos \varphi_2 + F_{n2} \sin \varphi_2, & F_{02z} &= F_{01z} + N_2 \sin \varphi_2 + F_{n2} \cos \varphi_2, \\
F_{03y} &= F_{02y} + N_3 \cos \varphi_3 + F_{n3} \sin \varphi_3, & F_{03z} &= F_{02z} - N_3 \sin \varphi_3 + F_{n3} \cos \varphi_3, \\
F_{04y} &= F_{03y} - N_4 \cos \varphi_4 - F_{n4} \sin \varphi_4, & F_{04z} &= F_{03z} - N_4 \sin \varphi_4 + F_{n4} \cos \varphi_4, \\
F_{05y} &= F_{04y} + N_5 \cos \varphi_5 + F_{n5} \sin \varphi_5, & F_{05z} &= F_{04z} - N_5 \sin \varphi_5 + F_{n5} \cos \varphi_5, \\
F_{06y} &= F_{05y} - N_6 \cos \varphi_6 - F_{n6} \sin \varphi_6, & F_{06z} &= F_{05z} - N_6 \sin \varphi_6 + F_{n6} \cos \varphi_6, \\
F_{07y} &= F_{06y} + N_7 \cos \varphi_7 + F_{n7} \sin \varphi_7, & F_{07z} &= F_{06z} - N_7 \sin \varphi_7 + F_{n7} \cos \varphi_7, \\
F_{08y} &= F_{07y} - N_8 \cos \varphi_8 - F_{n8} \sin \varphi_8, & F_{08z} &= F_{07z} - N_8 \sin \varphi_8 + F_{n8} \cos \varphi_8.
\end{aligned}$$

Добавки к реакциям сил в точках касания листа с роликами:

$$\begin{aligned}
\Delta N_2 &= -F_{01y} \cos \varphi_2 + F_{01z} \sin \varphi_2, & \Delta F_{n2} &= F_{01y} \sin \varphi_2 + F_{01z} \cos \varphi_2, \\
\Delta N_3 &= F_{02y} \cos \varphi_3 - F_{02z} \sin \varphi_3, & \Delta F_{n3} &= F_{02y} \sin \varphi_3 + F_{02z} \cos \varphi_3, \\
\Delta N_4 &= -F_{03y} \cos \varphi_4 - F_{03z} \sin \varphi_4, & \Delta F_{n4} &= -F_{03y} \sin \varphi_4 + F_{03z} \cos \varphi_4, \\
\Delta N_5 &= F_{04y} \cos \varphi_5 - F_{04z} \sin \varphi_5, & \Delta F_{n5} &= F_{04y} \sin \varphi_5 + F_{04z} \cos \varphi_5, \\
\Delta N_6 &= -F_{05y} \cos \varphi_6 - F_{05z} \sin \varphi_6, & \Delta F_{n6} &= -F_{05y} \sin \varphi_6 + F_{05z} \cos \varphi_6, \\
\Delta N_7 &= F_{06y} \cos \varphi_7 - F_{06z} \sin \varphi_7, & \Delta F_{n7} &= F_{06y} \sin \varphi_7 + F_{06z} \cos \varphi_7,
\end{aligned}$$

$$\Delta N_8 = -F_{07y} \cos \varphi_8 - F_{07z} \sin \varphi_8, \quad \Delta F_{п8} = -F_{07y} \sin \varphi_8 + F_{07z} \cos \varphi_8,$$

$$\Delta N_9 = F_{08y} \cos \varphi_9 - F_{08z} \sin \varphi_9, \quad \Delta F_{п9} = F_{08y} \sin \varphi_9 + F_{08z} \cos \varphi_9.$$

Нормальные реакции опор рабочих роликов в точках касания с листом:

$$N_1 = \frac{M_2 - F_{п1}y_{21}}{z_{21}}, \quad N_2 = \frac{-M_3 + M_2 - F_{п2}y_{32} - \Delta N_2 z_{32} - \Delta F_{п2}y_{32}}{z_{32}},$$

$$N_3 = \frac{M_4 - M_3 - F_{п3}y_{43} - \Delta N_3 z_{43} - \Delta F_{п3}y_{43}}{z_{43}},$$

$$N_4 = \frac{-M_5 + M_4 - F_{п4}y_{54} - \Delta N_4 z_{54} - \Delta F_{п4}y_{54}}{z_{54}},$$

$$N_5 = \frac{M_6 - M_5 - F_{п5}y_{65} - \Delta N_5 z_{65} - \Delta F_{п5}y_{65}}{z_{65}},$$

$$N_6 = \frac{-M_7 + M_6 - F_{п6}y_{76} - \Delta N_6 z_{76} - \Delta F_{п6}y_{76}}{z_{76}},$$

$$N_7 = \frac{M_8 - M_7 - F_{п7}y_{87} - \Delta N_7 z_{87} - \Delta F_{п7}y_{87}}{z_{87}},$$

$$N_8 = \frac{-M_9 + M_8 - F_{п8}y_{98} - \Delta N_8 z_{98} - \Delta F_{п8}y_{98}}{z_{98}},$$

$$N_9 = \frac{-M_9 - F_{п9}y_{109} - \Delta N_9 z_{109} - \Delta F_{п9}y_{109}}{z_{109}},$$

$$N_{10} = \frac{-M_9 - F_{п10}(z_{109} \sin(\varphi_9 + \varphi_{10}) - y_{109} \cos(\varphi_9 + \varphi_{10}))}{z_{109} \cos(\varphi_9 + \varphi_{10}) + y_{109} \sin(\varphi_9 + \varphi_{10})}.$$

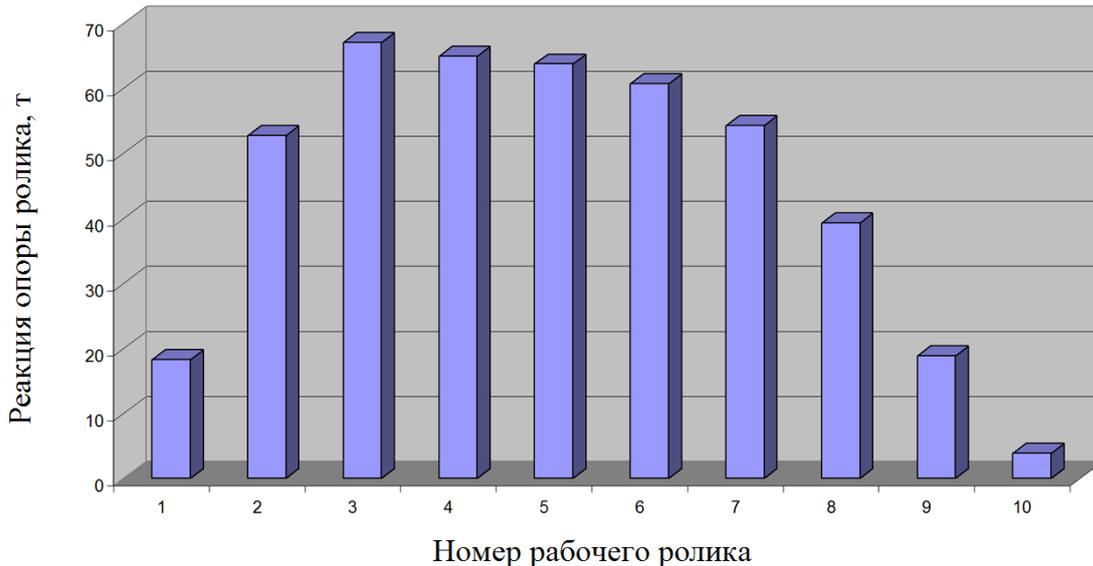


Рис. 6. Реакции опор рабочих роликов листопрямительной машины

Вертикальное усилие (усилие верхней кассеты роликов), действующее со стороны верхней кассеты роликов на лист, равно

$$F_{\text{верх}} = N_2 \cos \varphi_2 - F_{п2} \sin \varphi_2 + N_4 \cos \varphi_4 - F_{п4} \sin \varphi_4 + N_6 \cos \varphi_6 - F_{п6} \sin \varphi_6 +$$

$$+ N_8 \cos \varphi_8 - F_{п8} \sin \varphi_8 + N_{10} \cos \varphi_{10} - F_{п10} \sin \varphi_{10}.$$

Вертикальное усилие, действующее со стороны листа на нижнюю касету роликов, равно

$$F_{\text{нижн}} = N_1 \cos \varphi_1 - F_{\text{п1}} \sin \varphi_1 + N_3 \cos \varphi_3 - F_{\text{п3}} \sin \varphi_3 + N_5 \cos \varphi_5 - F_{\text{п5}} \sin \varphi_5 + \\ + N_7 \cos \varphi_7 - F_{\text{п7}} \sin \varphi_7 + N_9 \cos \varphi_9 - F_{\text{п9}} \sin \varphi_9.$$

Результаты расчетов. При $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $R = 0,125$ м, $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$ Па, $h = 0,010$ м, $b = 1,8$ м, $t = 0,270$ м, $\rho_1 = -1$ м, $H_2 = 12$ мм, $H_4 = 6$ мм, $H_6 = 3$ мм, $H_8 = 1,5$ мм и $H_{10} = -0,75$ мм получаем, что $N_1 = 18,281$ т, $N_2 = 52,769$ т, $N_3 = 67,086$ т, $N_4 = 64,959$ т, $N_5 = 63,772$ т, $N_6 = 60,740$ т, $N_7 = 54,298$ т, $N_8 = 39,337$ т, $N_9 = 18,848$ т, $N_{10} = 3,887$ т, $F_{\text{верх}} = F_{\text{нижн}} = 221,6$ т (рис. 6).

Предлагаемый выше метод вычисления силовых параметров десятироликовой листопрямляющей машины при правке поверхностных дефектов листовой стали имеет целью оказать помощь работникам металлургических предприятий в их работе по дальнейшему снижению потерь на отдельных этапах металлургического передела [1–95].

Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
12. Шинкин В.Н. Уругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.

14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямляющей машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14–16.

35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7–1. С. 74–78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликковой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатироликковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.

53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.

54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.

55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.

56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.

57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.

58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.

59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.

60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 95–102.

61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листоправильной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 102–110.

62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листоправильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 97–106.

63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листоправильной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 106–114.

64. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.

65. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.

66. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного прессы SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.

67. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.

68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.

69. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.

70. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.

71. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 7–11.
72. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.
73. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.
74. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.
75. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.
76. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
77. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.
78. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 107–112.
79. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 112–119.
80. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.
81. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.
82. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
85. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.
86. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.
87. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.
88. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров четырехроликовой машины при предварительной правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 146–154.
89. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа при правке на девятироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 128–138.
90. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах девятироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 138–146.
91. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой

машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 105–114.

92. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатиугольной листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 115–125.

93. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 125–134.

94. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 134–142.

95. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60–76.

Подписано в печать 11.10.2016. Гарнитура Times New Roman.

Формат 60×84/16. Усл. п. л. 8,37 Тираж 100 экз. Заказ 242

ООО «ЭПИЦЕНТР»

308010, г. Белгород, ул. Б.Хмельницкого, 135, офис 1

ИП Ткачева Е.П., 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а