



# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Периодический научный сборник



2016 № 7-2  
ISSN 2413-0869

ПО МАТЕРИАЛАМ XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
Г. БЕЛГОРОД, 30 ИЮЛЯ 2016 Г.

АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
(АПНИ)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ  
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

**2016 • № 7-2**

**Периодический научный сборник**

*по материалам  
XVI Международной научно-практической конференции  
г. Белгород, 30 июля 2016 г.*

**ISSN 2413-0869**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

2016 • № 7-2

**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 XVI Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий» (г. Белгород, 30 июля 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

<b>СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»</b> .....	<b>5</b>
<i>Абильдинова С.К., Расмухамедова А.С.</i> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА С ПОРШНЕВЫМ КОМПРЕССОРОМ .....	5
<i>Безносюк Р.В., Цыганов Н.В., Даденко В.А., Рембалович Г.К.</i> АДАПТИРУЮЩИЙ МОДУЛЬ ВЫНОСНОЙ СЕПАРАЦИИ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН.....	10
<i>Галкин С.Ю., Карнова Н.М.</i> КРАТКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ .....	14
<i>Гончаровский О.В.</i> ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ .....	17
<i>Данилова А.А., Майорова Е.С.</i> ОБЗОР ПАТЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ИСТОЧНИКОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ ПО ТЕМЕ: «АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ».....	22
<i>Дьяков В.Е.</i> КИНЕТИКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАФИНИРОВАНИЯ ОЛОВА ОТ ЖЕЛЕЗА .....	26
<i>Жернаков Р.С., Кислицын Е.В.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИИ ANCHOR MODELING .....	33
<i>Иманберди А.Е., Ахмет Т.М., Курбаналиев Л.Т.</i> ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАМЯТЬЮ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	36
<i>Камалетдинова Г.Р., Оневский М.П., Скворцов С.А.</i> ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ХЕМОСОРБЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА .....	39
<i>Карнова Н.М., Галкин С.Ю.</i> GSM/GPRS-РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, НАКОПЛЕННЫХ 1-WIRE-СЕТЬЮ ИВ-РЕГИСТРАТОРОВ .....	43
<i>Котиев Г.О., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С., Хашем Манафи Шейдан</i> ПОДБОР ШИН НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ И ВЕЗДЕХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	46
<i>Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Попков В.М.</i> ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....	51
<i>Назарьев А.В., Бочкарёв П.Ю.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ УСТАНОВЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ И ВОЗМОЖНЫЕ АЛГОРИТМЫ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ .....	55
<i>Пешкова А.В., Шарипов А.И., Бронникова А.С., Трифонова А.Ю.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ.....	61
<i>Соколова О.В.</i> ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНОГО ШЛАМА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ .....	64
<i>Ткешелашвили М.Е., Кошелева Н.П., Бобожонова Г.А.</i> СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАРИННОГО ЛАКОМСТВА .....	68
<i>Фарахов М.М., Лаптева Е.А.</i> КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МАССООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ГАЗОЖИДКОСТНОГО КОНТАКТА .....	72

<b>Хисамутдинов М.Р., Хисамутдинов Р.М.</b> АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ ERP С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ PLM И MES ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ ИТ ПРОДУКТОВ.....	77
<b>Хитов С.Б.</b> ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ МЧС РОССИИ.....	85
<b>Чертина Е.В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ГУСТАФСОНА-КЕССЕЛЯ И FCM ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ИННОВАЦИОННЫХ ИТ-ПРОЕКТОВ .....	89
<b>Чертина Е.В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИТ-ПРОЕКТАМИ.....	93
<b>Чуларис А.А., Людмирский Ю.Г., Рзаев Р.А., Нескоромный С.В.</b> О ВОЗМОЖНОСТИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ....	97
<b>Чуприна А.О.</b> НАЧАЛО ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ г. НОВОСИБИРСКА ПО РАДИАЛЬНО-КОЛЬЦЕВОЙ СХЕМЕ.....	102
<b>Шинкин В.Н.</b> К ВОПРОСУ О КРИВИЗНЕ СТАЛЬНОГО ЛИСТА В ДВЕНАДЦАТИРОЛИКОВОЙ МАШИНЕ.....	105
<b>Шинкин В.Н.</b> К ВОПРОСУ О СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРАХ ДВЕНАДЦАТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРАВКЕ .....	115
<b>Шинкин В.Н.</b> ПОДГИБ СТАЛЬНОГО ЛИСТА НА КРОМКОГИБОЧНОМ ПРЕССЕ ПО ЭВОЛЬВЕНТЕ. ЧАСТЬ 1. ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ.....	125
<b>Шинкин В.Н.</b> ПОДГИБ СТАЛЬНОГО ЛИСТА НА КРОМКОГИБОЧНОМ ПРЕССЕ ПО ЭВОЛЬВЕНТЕ. ЧАСТЬ 2. КРИТЕРИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГОФРА .....	134

## СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА С ПОРШНЕВЫМ КОМПРЕССОРОМ

*Абильдинова С.К.*

доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, д-р техн. наук, доцент,  
Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан, г. Алматы

*Расмухамедова А.С.*

докторант кафедры промышленной теплоэнергетики,  
Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан, г. Алматы

В статье представлены результаты исследования эффективности работы тепловых насосов. Разработан способ усовершенствования работы теплового насоса типа воздух-воздух, основанный на изменении скорости вращения вала компрессора с помощью электронных микропроцессорных устройств. Установлены интервалы изменения частоты переменного тока для привода компрессора, соответствующие энергоэффективным значениям коэффициента преобразования энергии теплового насоса.

*Ключевые слова:* тепловой насос, компрессор, конденсатор, испаритель, частотный преобразователь, фреоны.

Одним из эффективных путей развития источников и систем теплоснабжения является использование комбинированных систем теплоснабжения на базе крупных и малых ТЭЦ, котельных, совмещающие работу традиционных источников тепла и возобновляемых источников энергии тепловых насосов (ТН), автономных систем энергоснабжения на основе теплонасосных установок [1, с. 22].

Тепловые насосы используются в качестве преобразователя тепловой энергии от энергоносителя с низкой температурой к энергоносителю с более высокой температурой [2, с. 34]. Компрессор теплового насоса обеспечивает реализацию термодинамического цикла и потребляет основное количество электроэнергии. Без совершенствования работы компрессора невозможно добиться существенного повышения эффективности и надежности работы ТН, использовать в качестве рабочих тел экологически безопасные фреоны. Большое значение для потребителя имеет и снижение уровня шумового воздействия компрессора на окружающую среду.

Самым распространенным типом компрессора в настоящее время является поршневой и происходящие в нем процессы изучены достаточно подробно. В результате исследований последних лет выявлены возможности дальнейшего улучшения характеристик поршневых компрессоров путем обеспечения плавного регулирования их производительности, повышения надежности, снижения шума, уменьшения энергоемкости, весогабаритных и стоимостных показателей.

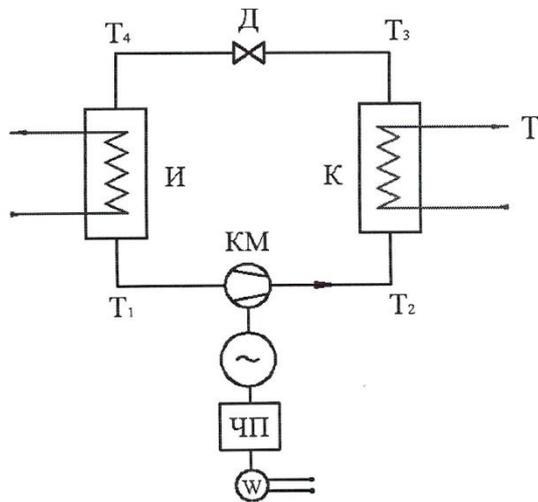
Для определения возможных путей совершенствования теплового насоса проводят анализ его термодинамического цикла, а также процессов, происходящих в отдельных элементах, входящих в его состав.

Эксергетический анализ парокompрессионных ТН с поршневыми компрессорами показывает, что наибольшие потери эксергии имеют место в компрессоре (около 20% от подведенной к установке эксергии) [3, с. 68-89].

Регулирование производительности компрессоров чаще всего осуществляется ступенчато путем их периодического пуска и останова, однако это приводит к сокращению сроков их службы и не позволяет в полной мере использовать энергосберегающий потенциал ТН вследствие их работы в нерасчетных переходных режимах.

Работа компрессора зависит от режима работы теплонасосной установки ТНУ. Регулирование производительности ТНУ может производиться уменьшением давления на выходе из компрессора, либо за счет снижения проходного сечения дросселя, либо перепуском рабочего тела. Наиболее прогрессивным в настоящее время способом регулирования производительности компрессора является изменение скорости вращения вала с помощью электронных микропроцессорных устройств [4, с. 130]. Такое регулирование обеспечивает эксплуатацию ТН в расчетном режиме и сокращает до минимума число пусков компрессора.

Нами проведено экспериментальное исследование энергетических характеристик теплонасосной установки типа воздух-воздух с применением частотного преобразователя для регулирования производительности компрессора. Для проведения эксперимента поршневому компрессору ТН был подключен частотный преобразователь Siemens micromaster 420 с диапазоном измерения частоты переменного тока 0÷650 Гц, рассчитанный на номинальную мощность 2,2 кВт и счетчик электроэнергии ВФМ 136, согласно принципиальной схеме на рисунке 1.



КМ – компрессор; ЧП – частотный преобразователь; К – конденсатор; Д – дроссельный вентиль; И – испаритель; W – счетчик электроэнергии.  
Рис. 1. Принципиальная схема теплового насоса типа «воздух-воздух»

Измеренные энергетические характеристики кругового процесса в ТНУ позволили определить энергетические параметры его работы, представленные на графиках (рисунки 2, 3, 4). Расчет тепловых нагрузок конденсатора и испарителя, а также энергетических параметров при изменении числа оборотов компрессора проводился согласно методике, описанной в [4, с. 31].

Энергетическая эффективность теплового насоса характеризуется коэффициентом преобразования энергии КПЭ

$$\mu = \frac{Q_n}{N_{км}}, \quad (1)$$

где  $Q_n$  – произведенная теплота тепловым насосом;  $N_{км}$  – мощность в тепловом эквиваленте, или механическая энергия, затраченная на привод компрессора.

По результатам экспериментов на рисунке 2 построены зависимости коэффициента преобразования энергии КПЭ от числа оборотов вала компрессора, показывающие об эффективном значении КПЭ  $\mu = 5,55 \div 7,23$  при  $n = 1400 \div 2150$  об/мин.

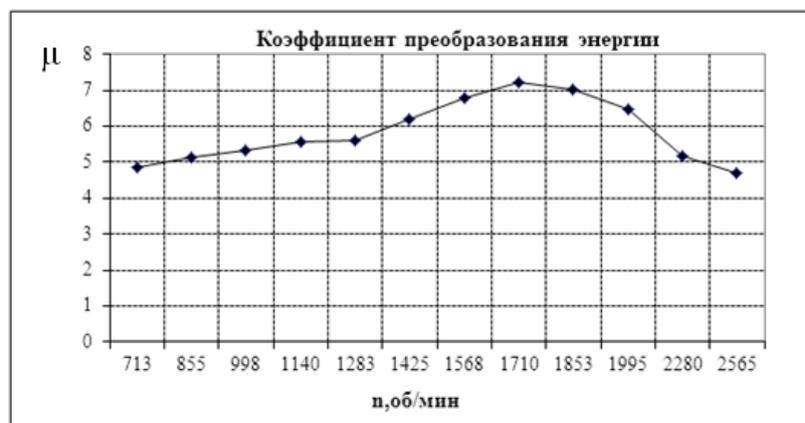


Рис. 2. Зависимость коэффициента преобразования энергии от числа оборотов компрессора

Оптимальные значения электромеханического и внутреннего КПД компрессора (рисунок 3) соответствуют интервалу изменения числа оборотов компрессора  $n = 1400 \div 2150$  об/мин и определяется пересечением кривых зависимостей  $\eta_{эм} = f(n)$  и  $\eta_i = f(n)$ , что соответствует значению  $\eta_{эм} = \eta_i = 0,95$ .



Рис. 3. Зависимость электромеханического и адиабатного КПД от числа оборотов компрессора

На теплонасосной установке исследованы зависимости основных характеристик  $Q_k, \mu, \eta_T$  от числа оборотов компрессора и определен возможный диапазон его регулирования (50-180%).

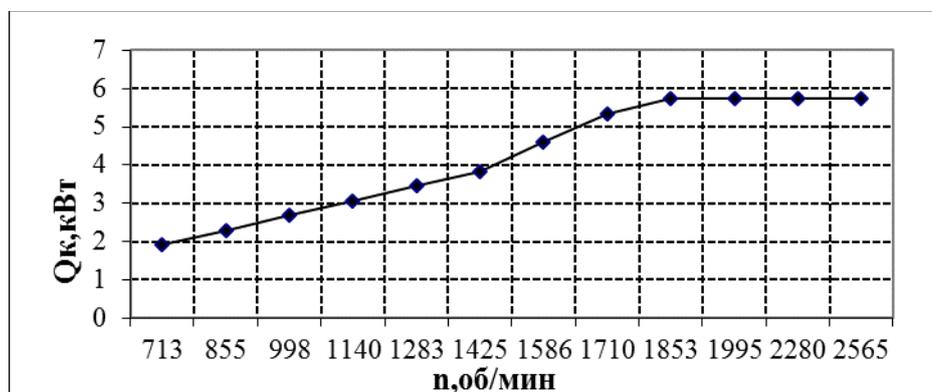


Рис. 4. Зависимость тепловой нагрузки конденсатора от числа оборотов компрессора

На рисунке 5 показана зависимость КПЭ от степени повышения давления. Степень повышения давления паров хладагента в компрессоре определяется по формуле

$$\pi_k = \frac{p_k}{p_u}, \quad (2)$$

где  $p_k$  - давление паров хладагента на выходе из компрессора;  $p_u$  - давление паров на выходе из испарителя.

Уменьшение степени сжатия хладагента компрессора  $\pi_k$  в 1,3 раза приводит к увеличению коэффициента преобразования энергии КПЭ 1,6 раза, и наоборот к уменьшению электрической мощности компрессора, затраченной на его привод. На рисунке 5 показана зависимость КПЭ и  $N_{км}$  от степени по-

вышения давления  $\pi_k$ . Зависимость коэффициента преобразования энергии от степени сжатия компрессора, показанная на рисунке 5 аппроксимируется квадратичной функцией

$$\mu = 6,83\pi_k^2 - 34,05\pi_k + 46,94. \quad (3)$$

Она получена с помощью обработки результатов эксперимента в приложении MS EXCEL, точечные диаграммы. Обработка результатов эксперимента по исследованию зависимости КПЭ ТН от степени повышения давления  $\pi_k$  методом наименьших квадратов позволило вычислить коэффициенты уравнения регрессии (3). Аппроксимация экспериментальных результатов в виде квадратичной функции (3) качественно и количественно исследуемую зависимость в среднем с погрешностью 1,25 %.

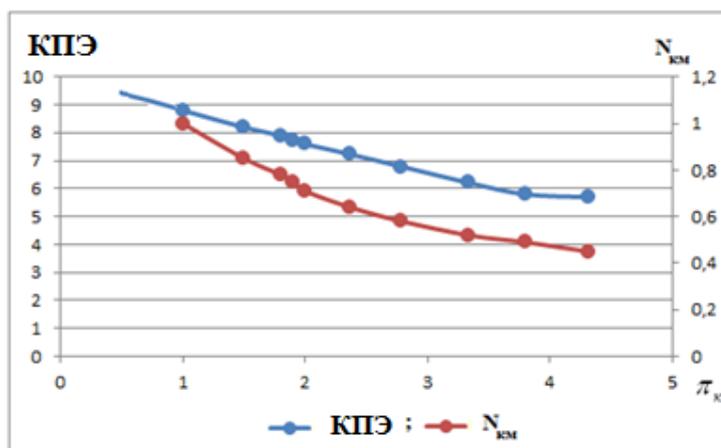


Рис. 5. Зависимость коэффициента преобразования энергии ТН и электрической мощности привода компрессора от степени сжатия паров рабочего вещества

Предложенный способ позволяет определить экспериментальные зависимости основных характеристик ТН от числа оборотов компрессора и определить возможный диапазон его регулирования (50-180%). Полученные результаты позволяют спроектировать ТНУ с системами качественного регулирования и обеспечат более глубокое регулирование мощности и температурных режимов.

#### Список литературы

1. Мукажанов В.Н., Абильдинова С.К., Васильченко Л.Ю. О перспективах применения тепловых насосов в рамках программы эффективного использования альтернативных источников энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан // Вестник АИЭС. 2008. № 3. С. 21-25.
2. Трубаев П.А., Гришко Б.М. Тепловые насосы. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2009. – 142 с.
3. Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988. 288 с.
4. Барский И.А., Антипов Ю.А., Шаталов И.К., Терехов Д.В. Показатели поршневого компрессора теплового насоса на частичных режимах//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 1. С. 31-33.

## **АДАПТИРУЮЩИЙ МОДУЛЬ ВЫНОСНОЙ СЕПАРАЦИИ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН**

***Безносок Р.В.***

старший преподаватель кафедры технологии металлов и ремонта машин,  
канд. техн. наук, Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева, Россия, г. Рязань

***Цыганов Н.В., Даденко В.А.***

ассистенты кафедры технологии металлов и ремонта машин,  
Рязанский государственный агротехнологический универси-  
тет имени П.А. Костычева, Россия, г. Рязань

***Рембалович Г.К.***

заведующий кафедры технологии металлов и ремонта машин,  
д-р техн. наук, Рязанский государственный агротехнологический универси-  
тет имени П.А. Костычева, Россия, г. Рязань

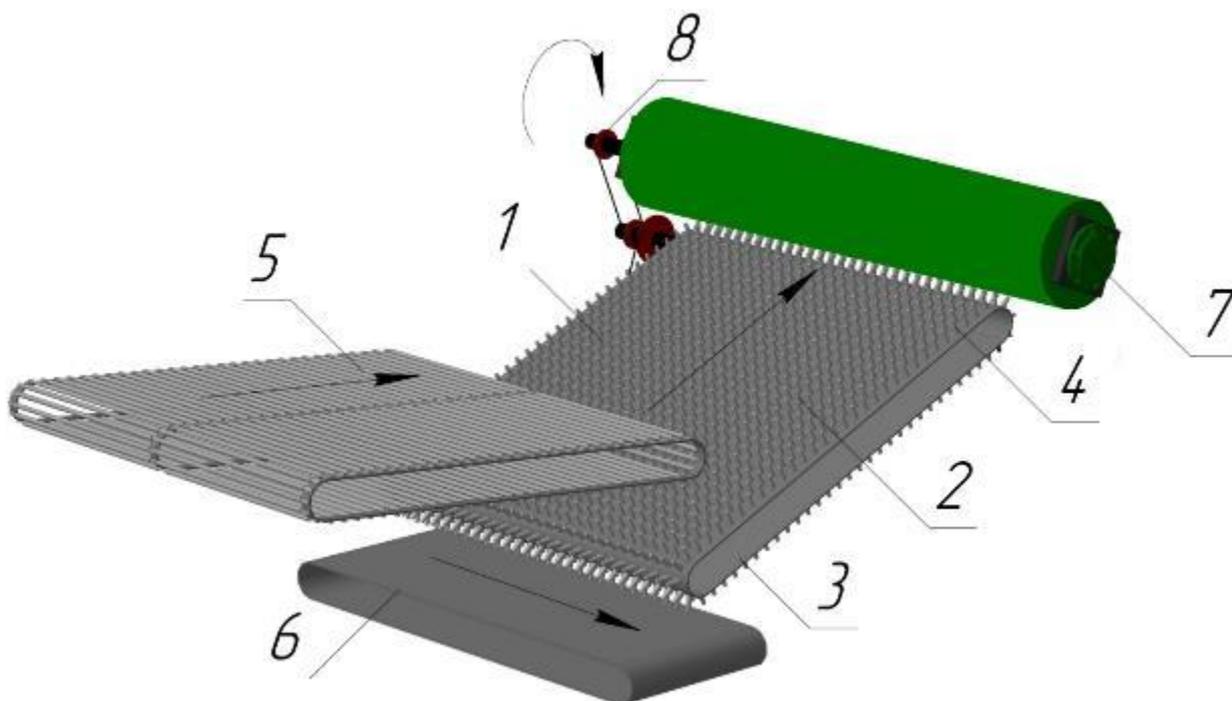
В статье рассмотрен вопрос повреждаемости клубней картофеля при уборке в сложных почвенно-климатических условиях. Описан модуль выносной сепарации позволяющий адаптировать картофелеуборочный комбайн к различным условиям работы и снизить повреждения клубней.

*Ключевые слова:* сепарация, картофелеуборочный комбайн, рабочий орган, картофель, машинная технология, повреждения клубней.

Одними из важнейших этапов производства картофеля являются его уборка, транспортирование и хранение, причем наиболее трудо- и энергозатратный (до 60% и более) элемент технологии производства – уборка [1]. Уборка картофеля на современных агропредприятиях проводится с использованием машинной технологии, основными специальными техническими средствами при этом являются картофелеуборочные комбайны.

Анализ показателей работы картофелеуборочных комбайнов показывает, что несмотря на высокие показатели производительности и степени очистки продукции уровень потерь и повреждений клубней зачастую не соответствует агротехническим требованиям, и значительно возрастает в тяжелых почвенно-климатических условиях [2].

В связи с этим повышение эффективности функционирования картофелеуборочных машин, в том числе путем совершенствования органа выносной сепарации, является актуальной научно-технической задачей.



- 1 – продольная прямоточная пальчатая горка; 2 – рабочая ветвь пальчатой горки;  
 3 – обратная ветвь пальчатой горки; 4 – упругие пальцы; 5 – сепарирующий элеватор;  
 6 – транспортер выгрузки корнеклубнеплодов; 7 – корнеклубнеотражатель;  
 8 – приводной вал

Рис. 1. Модульный орган выносной сепарации

По результатам анализа применяемых в настоящее время типов сепарирующих горок и процесса отделения клубней от примесей нами предлагается модульный рабочий орган выносной сепарации с возможностью установки в зависимости от условий уборки различных клубнеотражающих устройств (рис. 1) [3,4,5,6,7,8,9,10,11].

Устройство содержит разделительную горку 1, выполненную в виде наклонного транспортера, бесконечная транспортерная лента которого имеет рабочую 2 и обратную 3 ветви с упругими пальцами 4, транспортер загрузки 5 картофельного вороха и транспортер выгрузки 6 корнеклубнеплодов. В верхней части горки над головным барабаном наклонного транспортера расположен клубнеотражатель 7.

Клубнеотражатель выполнен в виде установленного на приводном валу 8 отбойного валика, снабженного механизмом вторичной очистки (рис. 2), представленным лопастями с эластичным покрытием, установленными под углом относительно оси вращения валика (рис. 2Б). При пониженной влажности или высокой засоренности почвы камнями применяется клубнеотражатель усовершенствованный храповым механизмом (рис. 2А), содержащим корпус, диск, закрепленный на отбойном валике, обратную подпружиненную собачку, вращающуюся вокруг оси и храповое колесо, закрепленное на приводном валу, для осуществления в процессе работы кратковременного проворачивания на валу привода в направлении, обратном направлению вращения вала привода.

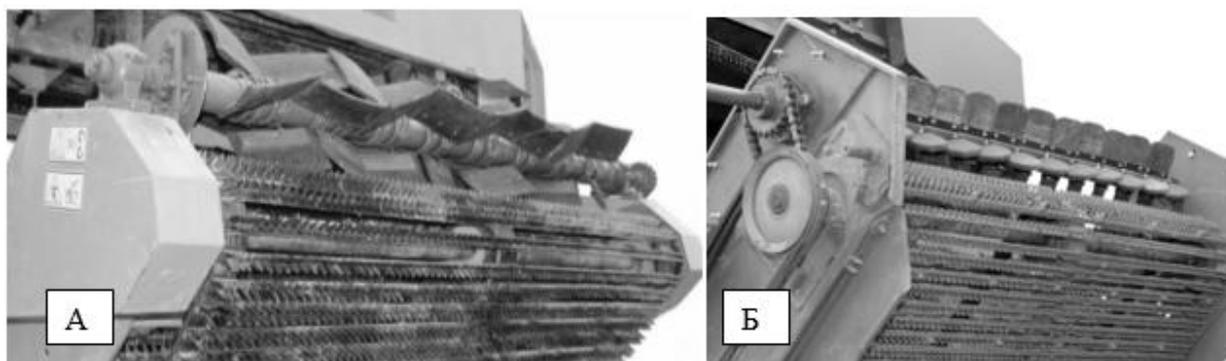


Рис. 2. Лопастной отбойный валик А (патент 2454850) и Б (патент 95960) на усовершенствованном комбайне

В хозяйствах Рязанской области были проведены испытания серийных и усовершенствованных картофелеуборочных машин результаты которых представлены в сводной таблице [12, 13].

Таблица

**Результаты испытаний серийных и усовершенствованных картофелеуборочных машин**

№ п\п	Показатели работы	Grimme DR1500 (патент 2454850)		Grimme DR1500 (патент 95960).	
		Серийная	Усовершенствованная	Серийная	Усовершенствованная
1	Рабоч. скорость агрегата, км/ч	4,2	4,4	4,2	4,4
2	Глубина хода лемеха, см	20	20	20	20
3	Производительность работы, га/ч	0,39	0,42	0,38	0,40
4	Качество выполнения технологического процесса, %				
	- собрано в тару	94,4	97,2	94,6	96,4
	- оставлено на поверхности	3,9	1,2	3,7	1,9
5	Повреждения клубней по массе, %	8,03	6,51	8,12	6,94
6	Состав вороха (по массе), %:				
	- клубни	84,8	90,1	84,5	89,7
	- почвенные комки	7,5	3,2	7,7	3,7
	- почва на клубнях	2,6	2,1	2,3	1,9
	- камни	1,8	1,7	1,7	1,7
	- растительные примеси	3,3	2,9	3,8	3,0

Снижение повреждений и увеличение частоты клубней в таре позволило увеличить производительность комбайнов, что в свою очередь отразилось на экономических показателях эффективности применяемого модульного устройства.

**Список литературы**

1. Рембалович, Г. К. Анализ динамики производства картофеля в Рязанской области [Текст] / Г. К. Рембалович, И. А. Успенский, А. А. Голиков // Вестник РГАТУ. – 2011. – № 3. – С. 51-52.
2. Повышение надежности технологического процесса и технических средств машинной уборки картофеля по параметрам качества продукции [Текст] /

Г. К. Рембалович, И. А. Успенский, Р. В. Безносюк [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 3. – С. 6-8.

3. Анализ условий и принципов разделения компонентов органами вторичной сепарации [Текст] / В. А. Павлов, Г. К. Рембалович, И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100. – С. 691-700.

4. Инновационные решения уборочно-транспортных технологических процессов и технических средств в картофелеводстве [Текст] / Г. К. Рембалович, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 1. – С. 23-25.

5. Математическая модель технологического процесса картофелеуборочного комбайна при работе в условиях тяжелых суглинистых почв [Текст] / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. К. Рембалович [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2014. – № 4 (24). – С. 59-64.

6. Рембалович, Г.К. Инновационный орган выносной сепарации картофелеуборочных машин [Текст] / Г. К. Рембалович, И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев [и др.] // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 6-7.

7. Рембалович, Г. К. Теоретические основы исследования рабочих органов на основе моделирования процесса вторичной сепарации в картофелеуборочных машинах / Г. К. Рембалович, Р. В. Безносюк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, – 2013. – № 05 (089). – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/57.pdf>

8. Технологическое и теоретическое обоснование конструктивных параметров органов вторичной сепарации картофелеуборочных комбайнов для работы в тяжелых условиях [Текст] / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2012. – № 4. – С. 87-90.

9. Патент на полезную модель № 95960, RU, М.кл.2 А 01 D 33/08 Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей / Безносюк Р.В., Бышов Д.Н. и др. – Оpubл. 20.07.2010, бюл. №20.

10. Патент на изобретение №2454850, RU, М.кл.2 А 01 D 33/08 Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей / Павлов В.А., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В. и др. – Оpubл. 10.07.2012.

11. Успенский, И.А. Сепарирующая горка с лопастным отбойным валиком / И.А. Успенский, Р.В. Безносюк, Г.К. Рембалович // Вестник РГАТУ. – 2010. – № 2 – С. 57-59.

12. Инновационные решения вторичной сепарации: результаты испытаний в картофелеуборочных машинах [Текст] / Г. К. Рембалович, Д. Н. Бышов, С. Н. Борычев [и др.] // Вестник РГАТУ. – 2011. – № 4. – С. 34-37.

13. Рембалович, Г. К. Результаты испытаний картофелеуборочного комбайна с лопастным отбойным валиком сепарирующей горки [Текст] / Г. К. Рембалович, Р. В. Безносюк, И. А. Успенский // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – М : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. И. Тимирязева. – 2013. – С. 28-30.

## КРАТКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ZIGBEE И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

*Галкин С.Ю., Карпова Н.М.*

бакалавры по направлению прикладная информатика,  
Технологический университет, Россия, г. Королев

Рассмотрены вопросы, связанные с кратким анализом технология ZigBee и ее применения.

*Ключевые слова:* 1-Wire-сети, iB-регистраторы, передача данных.

Сегодня наиболее перспективным проектом развития 1-Wire-сетей iB-регистраторов представляется объединение отдельных абонентов-логгеров в автономную локальную беспроводную сеть [1, 2]. При выборе протокола такой сети определяющими являются принципы малого энергопотребления абонентов, высокая надежность передачи данных, а также защита информационного потока [3]. Наиболее полно удовлетворяет этим требованиям безлицензионная технология ZigBee. Технология ZigBee – это набор протоколов и расширений к международному стандарту IEEE 802.15.4, реализация которых обеспечивает информационную совместимость устройств различных производителей выполняющих низкоскоростной обмен данными по радиоканалу на небольшие расстояния [4, 5].

Спецификация ZigBee предусматривает передачу информации в радиусе нескольких десятков метров с максимальной скоростью 250 кбит/с. За стандартом ZigBee закреплены 27 каналов в трех частотных диапазонах – 2,4 ГГц (16 каналов), 915 МГц (10 каналов) и 868 МГц (1 канал). Максимальная скорость передачи данных для этих эфирных диапазонов составляет, соответственно, 250 кбит/с, 40 кбит/с и 20 кбит/с. Доступ к каналу осуществляется по контролю несущей, то есть устройство сначала проверяет, не занят ли эфир, и только после этого начинает передачу. Кроме того, поддерживается шифрование передаваемых данных по алгоритму AES с длиной ключа 128 бит.

Радиус охвата устройств Zigbee зависит от очень многих параметров, но в первую очередь – от чувствительности приемника и мощности передатчика. На открытом пространстве расстояние между узлами в сети Zigbee измеряется сотнями метров, а в помещении – десятками метров. При этом следует помнить, что зона покрытия ZigBee значительно шире, чем расстояние между узлами, т.к. за счет ретрансляции сообщений осуществляется наращивание сети. Кроме того, ZigBee-оборудование может использовать в качестве туннеля для трафика каналы устройств Wi-Fi или Bluetooth, естественно, если они находятся в зоне видимости.

Максимально снизить энергопотребление устройств, задействованных в беспроводной сети ZigBee, позволяет регламент работы составляющих её абонентов, при котором большую часть времени они находятся в спящем режиме, лишь изредка прослушивая эфир. Поэтому одной небольшой батарейки типоразмера ААА должно хватать для поддержания работоспособности

ZigBee-оборудования с усреднёнными характеристиками в течение нескольких месяцев и даже лет.

В целом, все оборудование ZigBee можно условно разделить на три основные категории – координаторы, полнофункциональные устройства и устройства с ограниченными возможностями. Координаторы способны управлять работой всей сети, хранить информацию о ее параметрах и осуществлять настройку, а также использоваться в качестве моста в другие сети. Полнофункциональные устройства могут получать и передавать информацию и играть роль ретрансляторов. В свою очередь, устройства с ограниченными возможностями только лишь реагируют на команды координатора и не участвуют в маршрутизации.

К достоинствам технологии ZigBee следует отнести хорошую масштабируемость, возможность самовосстановления в случае сбоев и простоту настройки. Это так, поскольку ZigBee-устройства при включении питания благодаря специальному алгоритму, реализуемому встроенным программным обеспечением, умеют сами находить друг друга и формировать сеть, а в случае выхода из строя какого-либо из узлов умеют устанавливать новые маршруты для передачи сообщений. Таким образом, технология ZigBee может быть использована как для реализации простых соединений «точка-точка» и «звезда», так и для образования сложных сетей с топологиями «дерево» и «ячеистая сеть». При применении 64-разрядной адресации, кстати, свойственной 1-Wire-технологии, в единую сеть могут быть объединены свыше 60 тысяч ZigBee-устройств.

В настоящее время всё большее внимание уделяется перспективным решениям, связанным с построением сетей iB-регистраторов, реализованным на базе технологии ZigBee. К одним из таких проектов относится станция беспроводного мониторинга с GSM-доступом, все абоненты-регистраторы которой связаны между собой без применения проводов, а по радиоканалу посредством адаптеров ZigBee (рисунок).

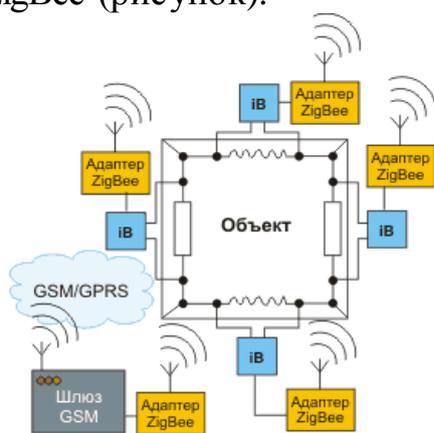


Рис. Станция беспроводного мониторинга с GSM-доступом

При построении такой локальной беспроводной сети не нужно выполнять прокладку каких-либо кабельных трасс, а также отпадает необходимость в реализации гальванически развязанных измерительных каналов, выполняющих измерение электрических сигналов с общей землёй.

Стационарный ZigBee-накопитель информационных копий памяти iВ-регистраторов оснащенных адаптерами ZigBee, которые периодически (время от времени) оказываются в зоне его беспроводного доступа.

Самым насущным примером преимущества такой сети мониторинга является пример организации автоматического бесконтактного сбора результатов, накопленных iВ-регистраторами с адаптерами ZigBee, закрепленными в изотермических кузовах автотранспорта предприятия [6, 7]. Это осуществимо, если стационарный ZigBee-накопитель установить у ворот при въезде на территорию предприятия. В этом случае отпадет необходимость в проведении периодических обходов автопарка с ручным прибором-транспортёром данных от iВ-регистраторов, поскольку все результаты будут автоматически считаны непосредственно при въезде рефрижераторов через ворота.

Мобильный перемещаемый ZigBee-накопитель информационных копий памяти iВ-регистраторов оснащенных адаптерами ZigBee, который периодически оказывается в зоне беспроводного доступа того или иного логгера. Используя подобное мобильное устройство обходчику уже не нужно приближаться к месту непосредственного размещения логгера, необходимо только лишь войти в зону радиобмена с ним. Это особенно актуально, если требующие обслуживания iВ-регистраторы находятся в недоступных, опасных или закрытых зонах.

Организация цепочек последовательной передачи (ретрансляции) накопленных данных от одного абонента ZigBee-сети iВ-регистраторов к другому (ближайшему находящемуся в зоне радиодоступа), что позволяет без прокладки протяженных проводных магистралей реализовать мониторинг объектов, имеющих большие расстояния между контрольными точками. Например, при беспроводном обслуживании складских помещений с высокой протяженностью.

#### Список литературы

1. Артюшенко, В. М. Анализ условий работы системы контроля заполнения путей и ее информационного обеспечения [Текст] / В.М. Артюшенко, В.И. Воловач // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. № 6. – С. 115-119.

2. Артюшенко, В. М. Проектирование сетей подвижной связи с кодовым разделением каналов [Текст] / В.М. Артюшенко: монография – ФГБОУ ВПО ФТА. – М., 2012. – 204 с.

3. Артюшенко, В. М. Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов [Текст] / В.М. Артюшенко: монография, ФГБОУ ВПО ФТА. – М., 2013. – 214 с.

4. Артюшенко, В. М. Электротехнические системы жизнеобеспечения зданий на базе технологий VASNET [Текст] / Монография. – М.: ГОУ ВПО «МГУС», 2006. – 138 с.

5. Артюшенко, В. М. Особенности отражения зондирующих сигналов радиотехнических устройств обнаружения от протяженных объектов сложной формы [Текст] / В.М. Артюшенко, В.И. Воловач // Школа университетской науки: парадигма развития. 2012. №2-6. С. 42-46.

6. Автосервис: станции технического обслуживания автомобилей: Учебник [Текст] / И.Э. Грибут, А.А. Ларионова, В. М. Артюшенко, М.В. Виноградова, Е.В. Поворина и др. / Под ред. В.С. Шуплякова, Ю.П. Свириденко. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2008. – 480 с.

## ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*Гончаровский О.В.*

доцент кафедры Автоматика и телемеханика, канд. техн. наук, доцент,  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Россия, г. Пермь

В статье рассмотрено решение задачи создания прототипа сетевой системы управления, позволяющего выполнять разработку и отладку программного обеспечения для вновь разрабатываемых систем управления.

*Ключевые слова:* сетевая система управления, интернет-ориентированная система управления, адаптер интерфейсов.

Развитие сети интернета открыло большие возможности для приближения удаленных объектов управления к человеку: от простого Веб-интерфейса видеонаблюдения до универсальных приложений, использующих роботов, подключенных к сети для удаленного теле-присутствия в различных средах, где роботы играют роль физических посредников. Это позволяет человеку дистанционно манипулировать различными объектами для получения информации, проведения экспериментов, а также физически взаимодействовать с другими людьми.

Веб-дистанционное управление отличается от традиционного телеуправления тем, что задержка и пропускная способность интернета весьма непредсказуемы – не редкость их вариации на несколько порядков. В традиционном телеуправлении задержка и пропускная способность обычно предполагаются фиксированными и гарантированными. Поэтому для Веб-управляемых объектов играет большую роль автономия, которая должна обеспечивать безопасность операций в случае нарушения связи или изменения ее временных характеристик.

Интернет пользователи обычно не имеют технического образования и навыков, требующихся для большинства существующих интерфейсов телеуправления. Поэтому важной является постановка задачи создания легкого в использовании графического интерфейса (Веб-интерфейса), которая не встречалась в традиционном телеуправлении. Например, информация собираемая роботом (карта помещения) должна легко пониматься и человеком, взаимодействующим с ним. Если необходимо сделать объект, управляемый через интернет многими людьми, то классическая парадигма монопольного управления, в которой только один управляет объектом, становится неприемлемой. Вместо этого необходим механизм посреднического управления (brokering control) между несколькими пользователями. Это особенно важно для интернета, где число потенциальных “пользователей” объекта управления огромно. В общем случае необходим интерфейс для смешанного управления, в котором различные

типы команд должны быть так опосредованы, чтобы минимально нарушались действиями той или иной групп пользователей.

Веб-управление получило название ICS (Internet-based Control Systems – интернет-ориентированные системы управления) [3, с. 2]. ICS определяют как NCS (Networked Control System), которая используют интернет как общую коммуникационную сеть.

Под NCS понимают систему управления, в которой конур управления замыкается через сеть реального времени. Определяющая особенность NCS состоит в том, что сигналы управления и сигналы обратной связи передаются между компонентами системы в форме сетевых информационных пакетов. Технология сети связи революционизировала область автоматического управления из-за того, что она обладает беспрецедентными способностями меж соединений для организации совместной распределенной работы и имеет огромный потенциал для создания высокоуровневого управления различного рода системами, например, производственными или для создания удаленных лабораторий.

Удаленные лаборатории реального времени играют важную роль в получении образования. Лабораторные эксперименты – наиболее важная часть в обучении проектированию встроенных систем, т.к. студенты применяют и верифицируют на практике знания, полученные на лекциях.

Одна из целей обучения проектированию, например, встроенных систем – овладение навыками создания их программного обеспечения. Экспериментальная часть – наиболее важная часть в обучении проектирования встроенных систем. Экспериментирование выполняется различными методами.

Традиционный эксперимент носит контактный характер в определенном месте, в определенное время. В этом случае студенты должны выполнять эксперименты в лаборатории. Традиционный эксперимент используется до сих пор, но его зависимость от места и времени может быть преодолена с помощью современных технологий.

Для достижения этой цели может подойти моделирование. Однако во многих случаях оно не может заменить реальный эксперимент. Моделирование по определению дает только приближение к реальному поведению.

По дисциплине встроенные системы студент должен уметь разрабатывать новые алгоритмы для реальных систем в соответствии с заданными требованиями и на реальном оборудовании объекта управления. Поэтому лабораторные занятия крайне важны для приобретения практического опыта. Хорошее образование зависит от того насколько оборудование лаборатории соотносится с реальной жизнью. Это предполагает значительные инвестиции. С другой стороны, существуют организационные ограничения для доступа к экспериментам, которые невозможно правильно учесть при составлении расписания. Кроме того, студенты имеют доступ к экспериментированию только в одном университете.

Современные технологии в ИТ индустрии позволяет создавать удаленные лабораторные занятия. Интернет успешно демонстрирует, как современные технологии могут поддерживать обмен информацией среди больших рассредоточенных групп пользователей.

Значительная функциональность при передаче информации и эффективный механизм для интеграции инструментов в единый интерфейс являются основными аргументами в пользу применения Интернета для образовательных целей. Таким образом, преимущества удаленных лабораторий состоят в следующем:

- разнообразие экспериментов: доступ к экспериментам в разных местах;
- больше экспериментов: эксперименты могут быть выполнены в короткие сроки, а также студенты могут сделать больше экспериментов независимо от места и времени;
- гибкий график работы: работа в лаборатории может быть доступна 24 часа в сутки;
- экономия на инструкторах: дистанционное образования сдвигается с лектор-ориентированного на лично-ориентированное обучения;
- экономия затрат на оборудовании: дорогой эксперимент становится общим для нескольких лабораторий.

Отсутствие прямого физического контакта при эксперименте может привести к потере "практического чувства". Однако оно может быть компенсировано расширением мультимедийных компонент (веб-камеры), что перевешивает преимущества физического контакта и дает студентам доступ к более разнообразным экспериментам.

Предметом исследования настоящей работы является технология разработки программного обеспечения Веб-ориентированных системы управления. В частности, задача состоит в создании прототипа сетевой системы управления, позволяющего выполнять разработку и отладку программного обеспечения для новых систем управления.

Как и все дистанционное управление ICS имеют определенные ключевые компоненты (рис. 1):

- точка управления, из которой поступают команды и из которой отслеживаются данные;
- точка, в которой эти команды выполняются, а данные собираются (часто содержит датчики и исполнительные механизмы);
- взаимодействие между точками происходит через Интернет.

Исследования в области ICS касаются процесса проектирования, исследования задержек в Интернете (главное отличие от телеуправления, трудно моделировать и предсказывать), обеспечения безопасности и защиты (из-за открытости архитектуры сети много рисков: кибер-терроризм, хакеры).

Процесс проектирования ICS [3, с. 6] включает разработку технического задания, архитектурное проектирование, проектирование алгоритма управления, проектирование интерфейса, и анализ безопасности и защиты.



Рис. 1. Структурная схема ICS

Проблема задержки в NCS в значительной степени ослабляется с помощью более равномерного распределения знания в системе (интеллектуальное автономное управление).

В процессе проектирования встает задача быстрого получения работающей модели системы для демонстрации заказчику, или проверки возможности реализации, или с целью приобретения компетенций при обучении. Работающую модель очередного проекта часто создают на основе предварительного созданного прототипа, обобщающего разнообразные особенности данного класса систем.

Общим для многих NCS является то, что исполнительные механизмы и датчики подключаются к контроллерам через интерфейсы I2C, SPI, GPIO (порты ввода-вывода общего назначения), PWM (широтно-импульсная модуляция) и ADC (аналого-цифровой преобразователь).

В качестве контроллеров сетевых систем управления на стороне объекта управления используются OEM-модули, промышленные контроллеры или оригинальные разработки, а на стороне оператора – компьютеры общего назначения, такие как настольные ПК, промышленные и панельные компьютеры, оснащенные сетевыми интерфейсами и необходимым программным обеспечением.

В предлагаемом прототипе на стороне объекта управления используется планшетный 8-ми дюймовый компьютер на Windows 10 с портом USB. К порту USB подключен адаптер интерфейсов DLN-2 (или 4) USB-I2C/SPI/GPIO/PWM/ADC [1]. Адаптер непосредственно взаимодействует с необходимыми датчиками и исполнительными механизмами объекта управления. Пользовательское приложение планшета может взаимодействовать с этим адаптером или напрямую, или через DLN-сервер (удаленно), являющийся Windows сервисом или Linux/Mac OS демоном.

Поставляемое с DLN API дает возможность разрабатывать как простые приложения (на C, C++, C#) из нескольких строк кода, взаимодействующие с одним адаптером так и более сложные приложения, которые взаимодействуют с несколькими адаптерами одновременно подключенных к различным компьютерам. Одна из особенностей DLN-адаптера состоит в том, что можно реализовать событийно-управляемый интерфейс: адаптер конфигурируется так, что вместо опроса он будет сообщать приложению о наступлении специфицированных событий.

На рис. 2 приведена структурная схема прототипа сетевой системы управления (удаленный контроллер), объектом управления в которой является роботизированная автоматическая тележка (мобильный объект) на базе iRobot Create 2 (робот-пылесос, преобразованный фирмой изготовителем в платформу для исследований в робототехнике) [2]. На тележке установлены DLN-адаптер, планшет, дополнительные датчики дальности, электронный компас, акселерометр, дополнительные исполнительные механизмы и маяк навигационной системы для помещений от компании Marvelmind.



Рис. 2. Структурная схема прототипа ICS (удаленный контроллер)

Приложение разрабатывается на стороне оператора и через облачное хранилище доступно на стороне удаленного контроллера. Приложение запускается на планшете мобильного объекта, например, через удаленный рабочий стол или приложение TeamViewer.

#### Список литературы

1. Diolan. URL: <https://diolan.com/> (дата обращения: 17.07.2016).
2. iRobot. URL: <http://store.irobot.com/education-research-robots/irobot-create-programmable-robot/family.jsp?categoryId=2591511> (дата обращения: 17.07.2016).

**ОБЗОР ПАТЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИИ  
И ИСТОЧНИКОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ ПО ТЕМЕ:  
«АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕСТИРОВАНИЯ  
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ»**

*Данилова А.А.*

магистрант 1 курса кафедры вычислительной техники и программирования,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
Россия, г. Магнитогорск

*Майорова Е.С.*

магистр кафедры вычислительной техники и программирования,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
Россия, г. Магнитогорск

Целью исследования работы является отбор наиболее эффективных научно-технических достижений в области автоматизированных систем тестирования программного обеспечения для определения уровня техники в данной области, а также выявление тенденций развития исследуемого объекта. Объект исследования – патентная информация об автоматизированных системах тестирования программного обеспечения. Предметом исследования являются качественные и количественные характеристики патентной информации. В статье приведены результаты качественного и количественного анализа патентной информации по объекту исследования.

*Ключевые слова:* тестирование, тестирование программного обеспечения, тестирование безопасности программного обеспечения, методы тестирования.

Одним из основных условий обеспечения конкурентоспособности продукции является ее патентная чистота. Это означает, что продукция не должна нарушать исключительного права на изобретения, промышленные образцы, полезные модели и другие объекты интеллектуальной собственности, подтвержденных выдачей патентов или свидетельств в странах, где она реализуется как товар [4].

В последнее время в области информационных технологий в связи с постоянно растущей конкуренцией на рынке программного обеспечения особую актуальность приобретают вопросы тестирования программного обеспечения, как деятельности, повышающей качество программных продуктов.

В ходе анализа патентной информации было выявлено, что проблема автоматизации тестирования программных продуктов с каждым годом приобретает все большую актуальность. Это вызвано тем, что сектор разработки программного обеспечения в настоящее время является наиболее быстрорастущим сегментом рынка информационных технологий. Первым шагом для достижения цели исследования стало проведение отбора и качественного

анализа наиболее эффективных научно-технических достижений в области автоматизированных систем тестирования ПО.

Российским патентом на изобретение, представляющим наибольший интерес, является патент №2331101 «Способ контроля функционирования программного обеспечения». Данное изобретение относится к области вычислительной техники.

Техническим результатом является обеспечение отказоустойчивого выполнения программным обеспечением своих функциональных возможностей с обеспечением защиты от случайного и преднамеренного вмешательства.

Способ заключается в том, что осуществляют запуск контролируемого программного обеспечения при запуске электронной вычислительной машины, вырабатывают ключ симметричного шифрования для взаимодействия модуля контроля и контролируемого программного обеспечения в ответ на сигнал инициализации, полученный при начальном запуске от программного обеспечения, модулю контроля сообщают идентификатор контролируемого программного обеспечения, набор контролируемых подсистем и ожидаемую интенсивность получения сигналов оповещения от контролируемых подсистем, в процессе функционирования программного обеспечения модулем контроля отслеживают интенсивность получения сигналов оповещения от контролируемых подсистем по-криптографически защищенному каналу, в случае несоответствия реальной интенсивности ожидаемой выполняют перезапуск электронной вычислительной машины [5].

Существенным недостатком данной системы является отсутствие возможности контроля отдельных модулей системы.

Зарубежным патентом на изобретение, представляющим наибольший интерес, является патент на изобретение № US9268663 «Software testing analysis and control». Данное изобретение относится к сфере тестирования и анализу результатов использования различных версий программного обеспечения и программных компонентов.

Описанные в патенте методики тестирования программного обеспечения, с изменяющейся нагрузкой, позволяют нарастить нагрузку тестирования на другие версии программного обеспечения. Модуль распределения может использовать правила распределения для назначения запросов к каждой версии программного обеспечения на основе различных факторов, таких как балансировка нагрузки, пользовательских атрибутов, или других правил, или логики. Анализ различных версий программного обеспечения также включает в себя анализ производительности системы в ходе работы каждой версии [2].

Недостатком методики является отсутствие создания автоматизированных тестов для графического интерфейса пользователя и возможности импорта ручных сценариев тестирования.

Следующим шагом стало выполнение количественного анализа найденных разработок. На рисунке 1 представлена диаграмма распределения патентной информации по странам.

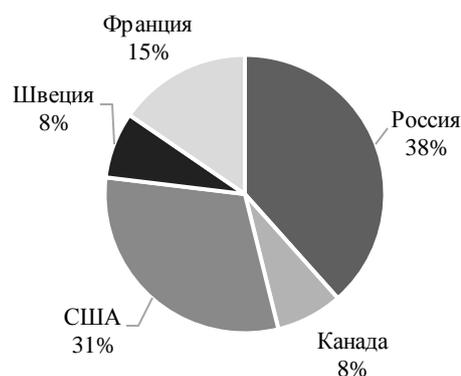


Рис. 1. Диаграмма распределения патентной информации по странам

Из них 6 патентов на изобретение и 7 заявок на изобретение.

На рисунке 2 показано распределение патентной информации по годам и по странам в виде гистограммы.

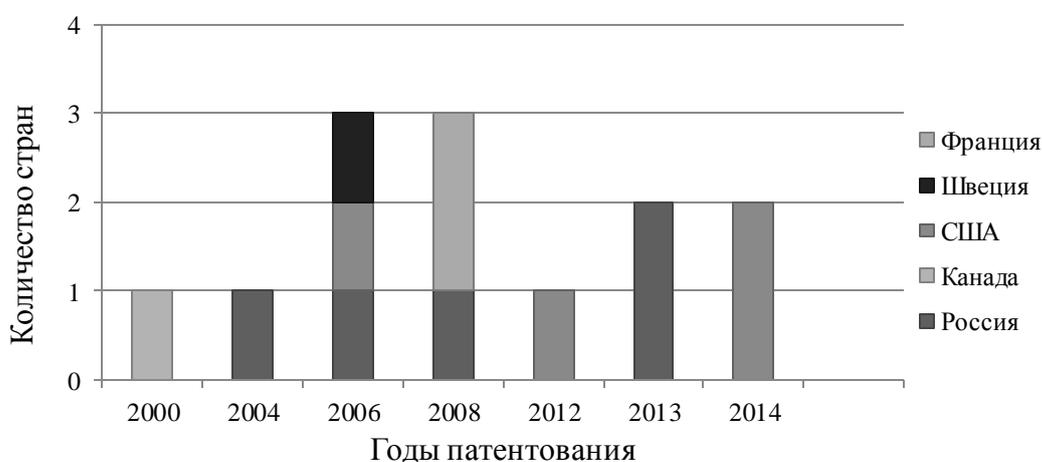


Рис. 2. Диаграмма распределения с накоплением патентной информации по странам

Далее был проведен анализ работ российских и зарубежных ученых, представляющих наибольший интерес по теме исследования.

Одна из работ, автором которой является Журавлев С.С., посвящена использованию автоматизированного тестирования автоматизированных систем управления технологическими процессами (далее АСУ ТП) шахт и рудников. В статье определена проблема комплексной отладки и тестирования программ управления АСУ ТП: сложность формирования полного набора согласованных сигналов реального технологического оборудования и невозможности искусственного создания аварийных ситуаций на реальном объекте. Автор выделяет четыре шага процесса тестирования программ управления АСУ ТП:

1. Разработка модели автоматизируемого технологического процесса с использованием библиотеки моделей типов технологического оборудования (далее МТТО).

2. Подключение тестируемого оборудования посредством коммутации информационных и физических линий ввода-вывода.

3. Последовательный выбор элементарных моделей (далее ЭМ) технологического оборудования для управления. Команды управления в процессе выполнения тестов и сценариев передаются через среду передачи данных

тестируемому программируемому логическому контроллеру (далее ПЛК). После выполнения программы управления ПЛК формирует исполнительные сигналы, которые передаются в модель технологического процесса для изменения состояния соответствующей ЭМ.

4. Выполнение комплекса тестов и сценариев для определения некорректных подключений и ошибок в программах управления АСУ ТП.

В статье автор приводит результаты автоматизированного тестирования типовой программы управления «Автоматизированная система контроля и управления технологическим оборудованием» производства, применяемой для автоматизации технологических процессов угольных шахт использованием разработанной библиотеки МТТО. Результаты работы могут применяться при разработке новых и модернизации существующих АСУ ТП, а также при разработке систем управления в других отраслях [5].

Работой, представляющей наибольший интерес по теме исследования среди зарубежных авторов, является статья канадского автора Майкла Доната (Michael Donat) «Automating formal specification-based testing». В работе описываются методы автоматического создания логической схемы, которая позволяет определять группы тестов в виде «черного ящика» из спецификаций, содержащих универсальные и экзистенциальные количественные оценки. Такие схемы называются тест-кейсы. Данный метод применим к спецификациям, написанным на уровне системных требований [1].

Исследования технического уровня на основе патентной информации по сей день являются обязательным этапом любого научного исследования [4]. Анализ источников периодической печати показывает возросший интерес к теме автоматизации тестирования программного обеспечения с 2008 г. Это вызвано ростом конкуренции разрабатываемого программного обеспечения, и, следовательно, чтобы повысить качество разрабатываемого программного обеспечения, разработчикам приходится уделять все больше внимание тестированию. Постоянное проведение повторного тестирования программного обеспечения при внесении незначительных изменений в программный код обуславливает автоматизацию данного процесса.

#### Список литературы

1. Donat M. Automating formal specification-based testing // III FASE FASE-8: Applications Of Formal Methods To Software Engineering, 2005. №13 (2). С.833–847.
2. Герасевич В.А., Аветисов А.Р., Шемагонова В.Б. Современный патентный поиск. Использование традиционных источников и возможностей сети интернет // Медицинский журнал, 2004. № 3 (9). С. 116-119.
3. Дудко Т.А., Дудко А.В. Применение патентного поиска для повышения эффективности научных исследовательских работ // Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2012. № 5-1 (22). С. 107-110.
4. Журавлев С.С. Программно-аппаратный комплекс для тестирования программ управления АСУ ТП шахт и рудников // Вычислительные технологии, 2013. № 18. С.150-155.
5. Патент РФ № 2006145955/09, 25.12.2006. Свиринов И.С. Способ контроля функционирования программного обеспечения // Патент России № 2331101. 2008. Бюл. № 22.

6. Патент США № 2004137211/09, 20.12.2004. Siddiqui M.; Yourtee K.A; Vance A.D.; Gonzalez I.E.; Keller T.L; Commons P. V; Amazon T. Software testing analysis and control // Патент США № 9268663. 2009. Бюл. № 32.

## КИНЕТИКА ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАФИНИРОВАНИЯ ОЛОВА ОТ ЖЕЛЕЗА

*Дьяков В.Е.*

канд. техн. наук, Открытое акционерное общество Центральный научно-исследовательский институт олова, Россия, г. Новосибирск

В статье приведены исследования кинетики рафинирования олова от железа и от железа с мышьяком центробежной фильтрацией расплава на лабораторной центрифуге с погружаемым фильтром. Расчетом показана 3-10 кратная циркуляции металла через фильтр для наполнения фильтра кристаллами. Показано значительное снижение выхода олова в съемы при совместном удалении мышьяка с железом при оптимальном соотношении  $Fe/As=0,5$ . Статистика промышленных результатов подтверждают закономерность, но выявляются практические трудности в обеспечении оптимального соотношения.

*Ключевые слова:* олово, рафинирование, фильтрация, центрифуга, интерметаллические соединения  $FeAs$ ,  $FeSn_2$ .

В металлургии олова после восстановительной плавки оловянных концентратов получают черновое олово, содержащее растворенные сопутствующие примеси. Самый трудоемкий процесс удаления железа и мышьяка осуществляют ликвацией. По мере охлаждения расплавленного черного олова растворимость железа и мышьяка снижается и они всплывают в виде интерметаллических соединений с оловом  $FeSn_2$  и  $As_2Sn_3$ , которые удаляются с поверхности олова в виде съемов. При этом в съемы выводится значительный объем олова. Для снижения выхода олова в съемы Мурач Н.Н. [1] описал результаты испытаний вакуумной фильтрации через пористые материалы. Несмотря на то, что в отфильтрованном металле содержалось 0,006% Fe остаток на фильтре содержал значительное количество 80% Sn. В продолжении решения задачи отделения кристаллов железа из расплавленного олова разработан и применяется аппарат фильтрации твердых примесей [2, 3], в котором фильтр погружен в ванну с расплавленным металлом, выполнен в виде двух конусообразных тарелей, соединенных основаниями, а верхняя тарель снабжена заборными окнами. Аппарат снабжен механизмом подъема и опускания фильтра.

Для снижения потерь олова предложено вводить железистое олово при 350-400°C и затем перемешивать металл с углем до получения сыпучих съемов [4]. В развитии этих данных лабораторными опытами показана зависимость содержания мышьяка в отфильтрованном олове от концентрации железа и мышьяка в исходном металле и предложено в расплавленный металл вмешивают железо-оловянный сплав [5]. Откорректированный металл обрабатывают сульфидом железа с отделением съемов центробежной фильтрации.

ей. Одновременно с удалением железа из черного олова удаляется и мышьяк на 90% до остаточного содержания 0,2%. Однако, более подробные сведения отсутствуют.

Для дальнейшего совершенствования технологии по получению устойчивых результатов необходимы исследования кинетики процесса фильтрации и выявления параметров влияния.

### Методика опытов

Опыты по рафинированию олова от железа и мышьяка проводили на лабораторной центрифуге с погружаемым фильтром (рис. 1).

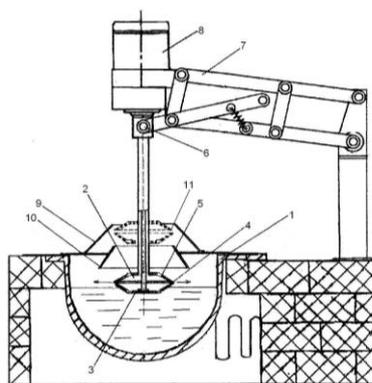


рис 1

Рис. 1. Лабораторная центрифуга ЦП 100 с погружным фильтром:

- 1 – Котел; 2 – Верхняя тарель; 3 – Нижняя тарель; 4 – Фильтрующая щель; 5 – заборные окна; 6 – Стопор раскрытия тарелей и разгрузки осадка из фильтра; 7 – механизм подъема фильтра; 8 – двигатель вращения фильтра; 9 – съемный конус сбора дроссов; 10 – съемный конус сбора брызг из фильтра; 11 – Уровень подъема фильтра для раскрытия тарелей и разгрузки осадка

Фильтр в виде двух конических тарелей диаметром 150 мм, обращенных друг к другу основаниями с зазором 0,1-0,2 мм и с образованием полости для накопления осадка. Фильтр погружался в олово, расплавленное в котле емкостью 10л. Двигателем постоянного тока фильтр приводился во вращение в расплаве со скоростью 300 об/мин в течение 1-5 мин. Периодически фильтр с кристаллами съемов поднимали над поверхностью расплава и увеличили скорость его вращения до 1500 об/мин на 20-30 сек. Происходила очистка осадка от жидкого металла и останавливали вращение фильтра. Верхнюю тарель освобождали и удаляли из полости фильтра съемы для взвешивания и анализа. При необходимости периодически отбирались пробы металла брызг из фильтра и металла из ванны котла. Цикл повторяли до полного удаления твердой фазы в расплаве, что определялось визуально по отсутствию осадка в тарелях. Пробыванализировалась на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой IRIS Intrepid компании INTERTECH Corporation.

### Результаты опытов и обсуждение

Характерной особенностью рафинирования олова с высоким содержанием железа, например, осадка горячего лужения стали [6] является осаждение кристаллов железистого олова на дно ванны и поэтому металл в котле непрерывно перемешивался пропеллерной мешалкой.

В таблице 1 приведены показатели кинетики фильтрации железистого олова осадка горячего лужения стали при 520°C с 3,53% до 0,14%Fe.

Таблица 1

**Кинетика центробежного рафинирования олова от железа**

Мо- мент мин	Ме- талл Fe%	Вы- ход% съемов	Анализ съемов		Производитель- ность кг\мин	Степень% удаления Fe	Выход,% Sn/Fe
			Fe%	Sn			
0	3,53						
20	2,84	8,8	10,69	76,2	18	26,8	7,1
60	2,15	10,2	8,83	71,2	20	50,0	8,1
100	1,32	13,6	7,44	86,4	12	73,6	11,6
140	0,48	10,5	8,46	86,2	8	91,4	10,2
165	0,24	2,8	9	83,0	3	95,8	9,3
235	0,21	0,4	8,9	85,4	0,14	96,4	9,5
295	0,14	0,8	8,74	84,4	0,33	97,6	9,7

Ход кинетической кривой (рис. 2) показывает, что на начальном этапе при высокой концентрации суспензии кристаллов процесс идет с высокой интенсивностью.

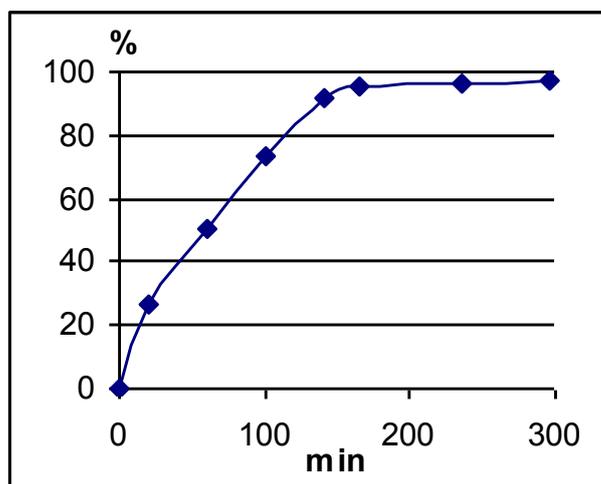


Рис. 2. Кинетика фильтрации расплава железистого олова. Абцисса-моменты отбора проб, ордината-степень % очистки олова от железа

На конечной стадии более 90% степени очистки скорость снижается и периодически вмешивался зернистый материал – каменный уголь. Причем на конечных стадиях производительность фильтрации без добавки каменного угля составляла 0,14 кг\ мин, а после добавки угля 0,33 кг\ мин.

Черновое олово от восстановительной плавки оловянных концентратов кроме железа содержат мышьяк и ниже приведены результаты опытов по его рафинированию. В табл. 2 приведены результаты опытов по изменению степени очистки олова от железа и мышьяка с увеличением длительности центробежной фильтрации.

Кинетика очистки олова от железа и мышьяка

№цикл	Анализ исходный, %			Состав съёмов, %		выход % съёмов	% очистки		Sn / (Fe+As)	вес, кг циркуляции
	Fe	As	Fe/As	Fe	As		Fe	As		
1	0,058	0,066	1,18	2,24	4,23	0,14	5,394	8,983	14,5	322
2	0,052	0,063	1,1	2,52	4,12	0,07	8,429	13,36	14,1	159
3	0,054	0,077	0,94	3,14	3,87	0,44	32,19	39,19	13,3	209
4	0,027	0,071	0,51	3,4	3,56	0,6	67,28	71,59	13,4	488
5	0,014	0,059	0,32	2,68	2,95	0,29	80,65	84,57	16,8	471
6	0,012	0,059	0,28	2,46	2,9	0,3	93,35	97,77	17,7	500
7	0,006	0,051	0,15	0,88	1,26	0,06	94,25	98,91	45,7	500

Примечание: Навеску металл 50 кг расплавляли и нагревали до 550°C, затем в течение 2 часов охлаждали до 300 °С.

По ходу циклов фильтрации анализы пробы брызг на выбросе металла из фильтра практически одинаковы и в среднем содержали Fe-0,024%; As-0,05%.

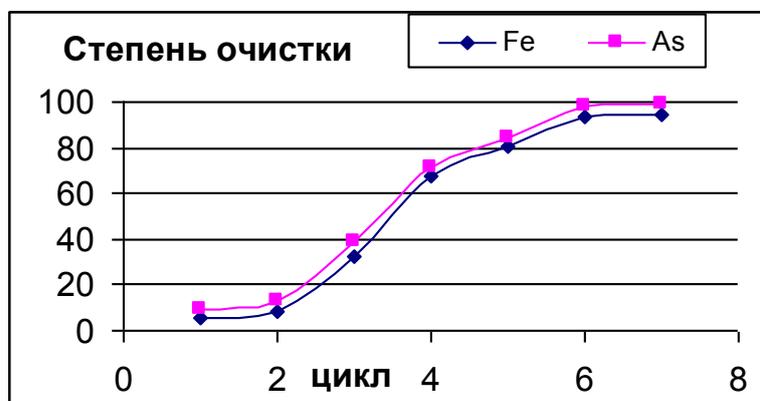


Рис. 3. Кинетика очистки олова от железа и мышьяка

Кинетика процесса очистки олова от Fe и As показывает (рис 3), что процесс удаления Fe и As идет в одинаковой степени. По мере наполнения фильтра съемами отфильтрованный металл через щель возвращается в ванну котла, постепенно снижая содержание примесей. Чтобы накопить объем полости фильтра кристаллами примесей необходимо, чтобы через щель фильтра многократно циркулировал определенный объем металла из котла.

Объем циркуляции металла рассчитан по формуле:

$$(Fec+Asc)*Vc*0,01/((Fek-Fef)+(Ask-Asf)), \quad (1)$$

где  $Fec, Asc$  – содержание соответственно Fe и As в съемах цикла;

$Vc$  – вес съёмов, г.;  $Fek, Ask$  – содержание соответственно Fe и As в котле цикла;

$Fef, Asf$  – содержание соответственно Fe и As в брызгах фильтра.

При фильтрации погружаемым фильтром крупные кристаллы являются «сеткой» для задерживания более мелких кристаллов. Поэтому на конечных циклах фильтрации объем циркулирующего металла через фильтр увеличивается и превышает в 10 раз исходную загрузку. В начальный период при высокой концентрации суспензии крупных кристаллов в олове вес циркуляции 159 кг, т.е. 3-кратная циркуляция в сравнении с исходной загрузкой.

По ходу фильтрации содержание Fe в котле как показано на рис 4 снижается по уравнению:

$$(Fe)_k = 0,07 - 0,01 * N \text{ с корреляцией } 0,91. \quad (2)$$

где N – порядковый номер цикла разгрузки фильтра;  
 $(Fe)_k$  – содержание Fe в ванне котла после цикла фильтрации.  
 Содержание As в котле менее заметно снижается

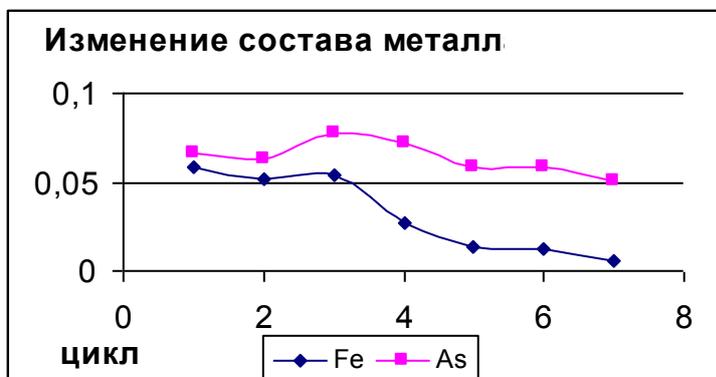


Рис. 4. Изменение состава рафинируемого металла в котле

Соотношение Fe/As в рафинируемом металле, как показано на рис. 5 снижается, а в съемах повышается с последующим снижением.

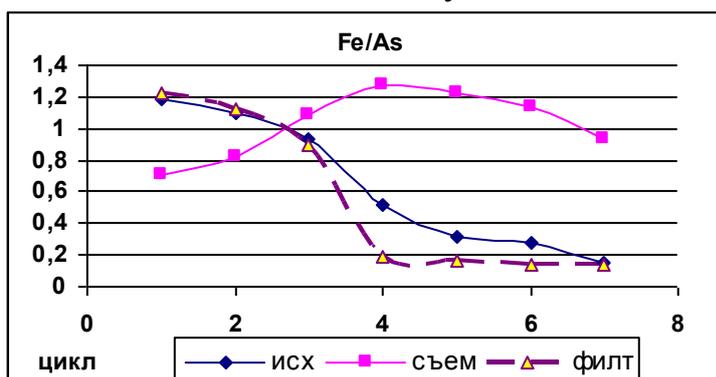


Рис. 5. Сравнение изменения соотношения Fe/As по ходу циклов рафинирования

Выход олова на единицу удаляемых примесей  $Sn/(Fe+As)$  с каждым циклом практически остается постоянным, как показано на рис. 6, потом резко повышается.

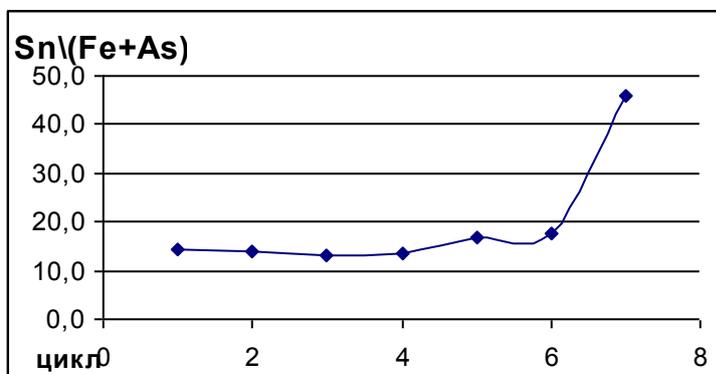


Рис. 6. Изменение выхода олова в съемы на единицу суммы Fe+As

Это объясняется тем, что вначале железо удаляется с мышьяком, а на конечных циклах остается железо связанное с оловом, удаление которого по-

вышает выход олова в съемы. При этом отношение Fe/As снижается с 1 до 0,2, т.е. в металле еще остается мышьяк, растворенный в олове.

Для подтверждения совместного наличия FeAs и FeSn<sub>2</sub> в черновом олове сняты ЯГР спектры фильтратов сплавов с разным соотношением железо-мышьяк (рис. 7). Мессбауэровские спектры <sup>119</sup>Sn снимались на спектрометре MS-10К с источником BaSnO<sub>3</sub>[7].

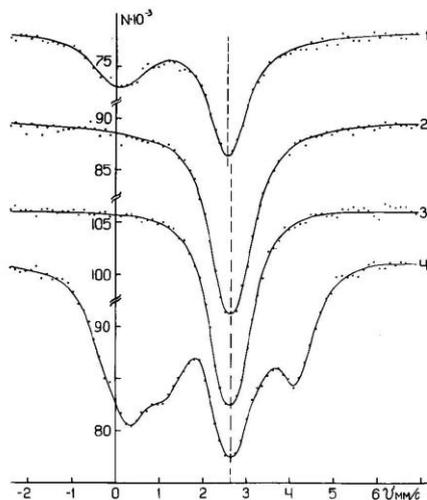


Рис. 7. Мессбауэровские спектры <sup>119</sup>Sn проб:  
1- проба олова с Fe-11,2; As-14,9; Fe/As-1,0;  
2- проба олова с Fe-4,8; As-9,18; Fe/As-0,70;  
3- проба олова с Fe- 1,3 ; As-7,3 ; Fe/As-0,24-;  
4- проба олова с Fe- 7,9 ; As-4,2 ; Fe/As-2,52-

В пробе 1 (с соотношением Fe:As=в стехиометрии) по спектру <sup>119</sup>Sn олово находится в виде β-Sn и SnO<sub>2</sub> и нет фаз взаимодействия олова с железом или мышьяком (рис. 7). При соотношении железа к мышьяку более низким, чем стехиометрическое (пробы 2,3) в спектрах <sup>119</sup>Sn наблюдается смещение линии вправо относительно β-Sn, что указывает на взаимодействие олова с мышьяком. В том случае когда железа больше, чем мышьяка (проба 4) взаимодействие между компонентами указывает на появление фаз типа FeSn<sub>2</sub>. Приведенные результаты показывают закономерность рафинирования олова от железа с мышьяком центробежной фильтрацией.

Ниже приведенные результаты промышленных плавов подтверждают эту закономерность и выявляют высокую погрешность подготовки исходного металла в оптимальном соотношении железа к мышьяку. Промышленные плавки по рафинированию чернового олова от железа и мышьяка проводились на аппарате ЦП-450

## Результаты промышленных плавков фильтрации олова от железа

Плавка	исходный металл		Fe/As mol	Из фильтра As	Железистые съемы			Выход съёмов, %	Sn/Fe+As	степень% очистки	
	Fe, %	As, %			% Sn	% Fe	% As			Fe	As
1	0,26	2,29	0,15	0,29	65,9	2,1	16,6	12,2	3,5	96,6	88,9
2	0,88	2,24	0,53	0,3	54,9	7,4	16,7	11,8	2,3	99,0	88,2
3	1,87	3,78	0,66	0,25	54,4	8,7	16,8	21,4	2,1	99,6	94,8
4	2,00	2,69	1,00	0,27	52,3	12,5	15,4	16,0	1,9	99,6	91,6
7	1,73	2,13	1,09	0,2	45,1	11,5	13,1	15,0	1,8	99,5	92,0
5	2,04	2,23	1,22	0,24	48,8	13,9	13,9	14,6	1,8	99,6	90,8
6	3,03	3,11	1,30	0,22	47,5	14,2	13,8	21,3	1,7	99,7	94,4

Примечание: Средняя загрузка 17т металла на плавку. Температура металла при фильтрации снижалась от 450°С до 350°С. После фильтрации содержание железа в металле 0,01% и в среднем 0,2% мышьяка и металл направлялся на вакуумное рафинирование.

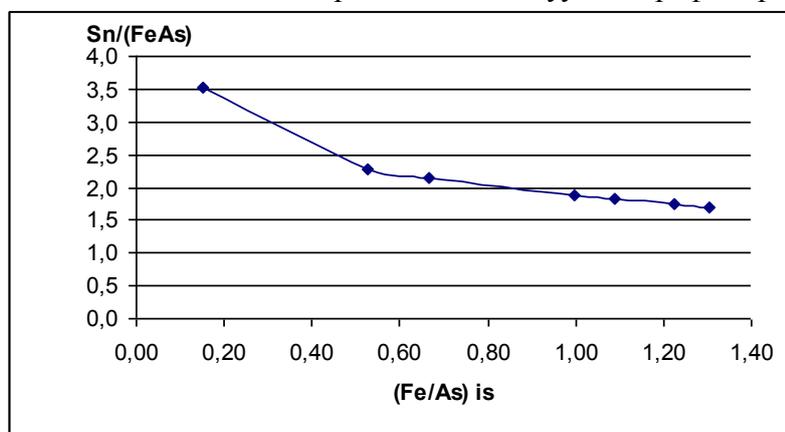


Рис. 8. Влияние соотношения Fe/As в исходном металле на выход Sn в съемы на единицу удаляемых примесей Sn/(Fe+As)

С увеличением соотношения в исходном олове (Fe/As) выход олова в съемы резко снижается при соотношении 0,46-0,65 (рис 9), а в целом снижается по уравнению:

$$\text{Sn}/(\text{Fe}+\text{As})=3,3-1,4*(\text{Fe}/\text{As})_{\text{is}} \text{ с корреляцией } 0,8. \quad (3)$$

Содержание As в рафинированном олове с достаточно высокой достоверностью зависит от соотношения железа к мышьяку по уравнению:

$$(\text{As})_{\text{отр}}=0,3-0,066*(\text{Fe}/\text{As}) \text{ с корреляцией } 0,87 \quad (4)$$

Практически же оптимальное соотношение (Fe/As) не выдерживается и изменяется в широком интервале.

### Выводы

Исследованием кинетики рафинирования олова от железа и железа с мышьяком центробежной фильтрацией показана закономерность совместного удаления мышьяка с железом в виде интерметаллического соединения FeAs. Расчетом показана 3-10 кратная циркуляции металла через фильтр для наполнения фильтра кристаллами. Показано значительное снижение выхода олова в съемы при совместном удалении мышьяка с железом при оптимальном соотношении Fe/As=0,5.

*Автор приносит благодарность Варнек В.А. ИНХ СО РАН за помощь в получении спектров ЯГР.*

#### **Список литературы**

1. Мурач Н.Н., Севрюков Н.Н., Полькин С.И., Быков Ю.А. *Металлургия олова*. М, Металлиздат, 1964, 351.
2. United States Patent 3,780,864. Dolgov A.V., Kononov L.V., Perkis L. B., Deev S. L., Suturin S.N., Dyakov V. E., Bauer E.T. – Метод и аппарат рафинирования расплава от твердых примесей. 25.12. 1973.
3. Пат России №2093594. Дугельный А.П., Закшевский В.И., Дьяков В.Е., Галкин Е.А., Центрифуга фильтрации расплавленного металла, Оп:20.10.1997, БИ-29-97-313.
4. Лебедев И.С., Дьяков В.Е., Терехин А.Н., Комплексная металлургия олова. Новосибирск, 2004. 548 с.
5. Авт св СССР №647942. Дьяков В.Е., Ю.С.Корюков, С.Н.Сутурин, В.Г.Лелюк Способ рафинирования олова от примесей, опуб Бюллетень изобрет. и тов.знаков, М.: ЦНИИПИ, 10.03.12, БИ№7-12-380.
6. Черкасский Р.И., Кувшинов В.А., Дьяков В.Е., Сутурин С.Н. Регенерация олова из отходов горячего лужения методом центробежной фильтрации. *Сталь*, 1982, №6. С. 52-54.
7. Дьяков В.Е., Варнек В.А. Исследование продуктов рафинирования олова от мышьяка хромом. *Цветные металлы*. 1985. №9. С. 33-35.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИИ ANCHOR MODELING**

***Жернаков Р.С.***

ассистент кафедры статистики, эконометрики и информатики,  
Уральский государственный экономический университет,  
Россия, г. Екатеринбург

***Кислицын Е.В.***

старший преподаватель кафедры статистики, эконометрики и информатики,  
Уральский государственный экономический университет,  
Россия, г. Екатеринбург

В статье рассматривается методология Anchor Modeling, применяемая для моделирования бизнес-процессов. Выделены важнейшие характеристики предложенной методологии и основные компоненты: якорь, атрибут, отношение, узел.

*Ключевые слова:* anchor modeling, хранилища данных, big data, моделирование.

Исследование так называемых больших данных является одним из важнейших направлений информационной науки, наряду с имитационным моделированием и искусственным интеллектом [2]. Одной из технологий моделирования и проектирования больших данных является Anchor Modeling.

Anchor Modeling – это разновидность agile-методологий для моделирования данных, предлагающая механизмы расширяемости и обеспечивающая

надежное и гибкое управление изменениями. Данная методология разработана специально для проектирования в условиях постоянно изменяющейся логики в области бизнеса. Цель методологии заключается в достижении сильно нормализованной модели, которая эффективно обрабатывает изменения и увеличение хранилища данных (далее – ХД) без отмены предыдущих действий. Поэтому ключевая особенность методологии заключается в том, что изменения в ХД происходят за счет расширений, а не модификаций, что позволяет хранить все предыдущие версии модели в качестве подмножеств последней версии [4].

Развитие модели путем расширения обеспечивает модульность, позволяющую декомпозировать модель данных на небольшие, устойчивые и хорошо управляемые компоненты, развивающиеся итеративно. Действительно, первым делом строится небольшой блок, включающий основные бизнес-сущности, далее, по мере роста осведомленности, достраивается более детальная часть модели, что значительно позволяет снизить риски разработки СППР. В целом, методология нацелена на то, что большие изменения во внешней среде бизнеса должны приводить к малым изменениям в модели данных. Уменьшение необходимости перепроектирования ХД существенно повышает «жизненный цикл» системы, сокращает время внедрения и загрузки данных, а также упрощает обслуживание [4].

Ниже представлен ряд важнейших характеристик Anchor Modeling:

1. Устойчивость к изменениям (Resilience to change);
2. Гибкость (Agility);
3. Расширяемость (Extensibility);
4. Инкрементальность и итеративность разработки (Iterative and incremental development);
5. Отслеживание истории (History tracking);
6. Простота и скорость выполнения темпоральных запросов (Ease of temporal querying and high run-time performance).

Методология Anchor Modeling предлагает свою собственную графическую нотацию для построения моделей. По внешнему виду она близка к ER-диаграмме (entity-relationship), однако содержит специальное расширение для темпоральных данных. Тем не менее, модель Anchor Modeling все равно можно построить, используя различные техники моделирования. Визуальное представление четырех основных компонентов представлено на рисунке.

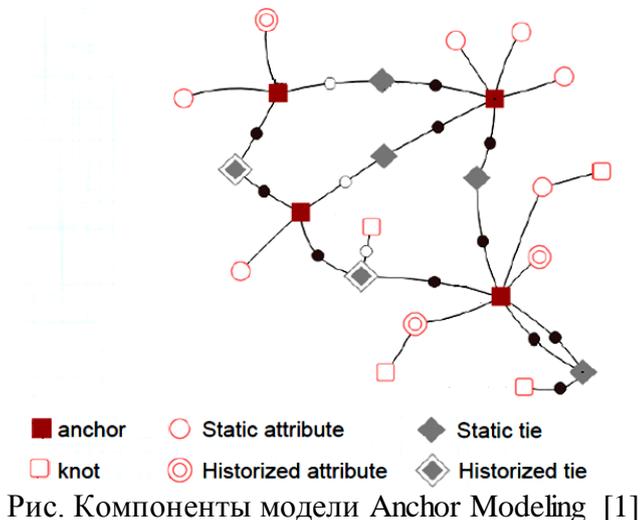
Якорь представляет собой набор уникальных бизнес-ключей. Логическое реляционное представление: реляционная таблица  $A(K\#)$  с одним столбцом  $K$ , где  $K$  – первичный ключ таблицы  $K$ .

Атрибуты, следующий компонент модели, содержат дополнительные сведения о якорях. Логическое реляционное представление: реляционная таблица  $Attr(K^*, P)$ , где  $K$  – первичный ключ атрибута, являющийся внешним ключом, связанным с первичным ключом относящегося к нему якоря;  $P$  – ненулевое значение.

В модели Anchor атрибуты бывают нескольких видов:

1. Статический (как правило, неизменяемый во времени);

2. Исторический (используется, когда важно отслеживать различные состояния, при этом к первичному ключу добавляется поле с типом даты);
3. Узловой статический (используется, когда атрибут представляет собой небольшое множество категорий/состояний);
4. Узловой исторический (свойства аналогичны узловому статическому, однако добавляется возможность отслеживания значений во времени).



Отношения между якорями хранятся в специальном компоненте – связи. Логическое реляционное представление: реляционная таблица  $Tie(K_1^*, \dots, K_n^*)$ . Где  $n$  – количество ассоциированных якорей и каждое  $K_i$  для  $i = \{1, \dots, n\}$  является внешним ключом, соответствующим якорю. Первичным ключом в данном случае является совокупность первичных ключей всех якорей, что позволяет гарантировать уникальность каждой строки связи. Аналогично атрибутам, связи также бывают четырех видов:

1. Статическая (используется для неизменяемых отношений)
2. Историческая (для ситуаций, когда отношение меняется во времени, при этом к первичному ключу добавляется поле с типом даты)
3. Узловая статическая (используется для связей объектов, принадлежащих определенным категориям)
4. Узловая историческая (свойства аналогичны узловой статической, но добавляется еще поле с типом даты для отслеживания изменений в связях)

Последний компонент, узел, представляет собой неизменяемый, как правило, небольшой, набор уникальных значений. Логическое реляционное представление: реляционная таблица  $Knot(K^*, P)$ , где  $K$  – первичный уникальный ключ узла,  $P$  – ненулевое значение. Самым простым примером узла является «пол человека». Это неизменяемый справочник, состоящий из двух значений: Мужской и Женский [3].

Таким образом, якоря и узлы представляют в модели Anchor Modeling неизменяемую составляющую, в то время как атрибуты и связи адаптированы для изменений во времени. В целом, делается вывод, что модель Anchor является очень гибкой и легко расширяемой.

### Список литературы

1. Блохин А.Н. Моделирование развивающихся систем на множестве состояний функционирования // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 1. – С. 16-27.
2. Кислицын Е.В. Аналитическое и имитационное моделирование инвестиционных процессов на предприятии и в регионах // Будущее науки-2015: Сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции. – 2015. – С. 139-144.
3. Ralph Kimball, Margy Ross, Warren Thornthwaite, Joy Mundy, Bob Becker. The Data Warehouse Lifecycle Toolkit, 2nd edition. WILEY. Kimball Group, 2008.
4. Rönnbäck, L., Regardt, O., Bergholtz, M., Johannesson, P., and Wohed, P. Anchor modeling—Agile information modeling in evolving data environments, Data & Knowledge Engineering, vol. 69, 12, 1229-125, 2010.

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАМЯТЬЮ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Иманберди А.Е.*

студент 4-курса кафедры «Вычислительная техника»,  
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
Казахстан, г. Астана

*Ахмет Т.М.*

студент 4-курса кафедры «Информатика и информационная безопасность»,  
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
Казахстан, г. Астана

*Курбаналиев Л.Т.*

и.о. доцента кафедры «Вычислительная техника», к.т.н.,  
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
Казахстан, г. Астана

В статье рассматриваются оптимальные решения управления памятью в разработке разного типа программного обеспечения, виды управления памятью, и их положительные и отрицательные стороны. Выбор оптимального типа управления памятью и языка программирования для решения определенных задач является основным фактором производительности, и гибкости приложения для его дальнейшего развития.

*Ключевые слова:* сборщик мусора, память, язык программирования, утечка памяти, висячие ссылки, C++, Lisp, Prolog, C#, Java.

При написании любых приложений одной из важнейших деталей является управление памятью или управление ресурсами приложения. В разных языках программирования за это отвечает так называемый процесс как сборщик мусора (garbage collector). Сборщик мусора в свою очередь выполняет две вещи – это поиск более ненужных объектов или мусора и очистка памяти от них. Собственно, возникает вопрос, а чем лучше сборщик мусора от ручного управления памятью? Дело в том, что под сборкой мусора подразумевается автоматическое управление с памятью, где от разработчика требуется

минимум усилий касательно выделения и освобождения памяти объектов программного обеспечения. А когда речь идет о ручном управлении памятью, то возникает две основные проблемы, так называемые как висячие ссылки и утечка памяти. Первые в свою очередь являются ссылками разных объектов, которые уже считаются удаленными, а ссылка по-прежнему остается и становится недоступными и самое главное занимают память. А второе появляется, когда разработчик забывает явно удалить ранее выделенную область динамической памяти. Эта проблема часто встречается при работе с языком C++, например, при работе с динамическим массивом внутри циклов. Она описывается следующим образом объекты, созданные разработчиком, остаются, но не остаются переменные, которые должны хранить адреса этих объектов. После этого к объектам нельзя получить доступ, ни удалить их. Как вы и убедились сборщик мусора – это очень важный элемент во всех системах и языках программирования.

По сравнению с ручным управлением памятью сборка мусора безопаснее, поскольку она предотвращает утечки памяти и возникновение висячих ссылок из-за несвоевременного удаления объектов. Существенное удобство от сборки мусора возникает тогда, когда динамически созданные объекты живут длительное время, многократно дублируются, а ссылки на них передаются между различными участками программы. В таких программах в общем случае достаточно сложно безошибочно определить место, где объект перестал использоваться и его можно удалять. Поскольку именно такая ситуация складывается при широком использовании динамически изменяемых структур данных (списки, деревья, графы), сборка мусора является необходимой в широко использующих такие структуры функциональных и логических языках, типа Lisp или Prolog. Использование сборки мусора в традиционных императивных языках (основанных на структурной парадигме, возможно, дополненной объектными средствами) определяется желаемым соотношением между простотой и скоростью разработки программ и эффективностью её выполнения.

При использовании сборщика мусора ссылка на неиспользуемый объект может сохраниться в другом объекте, который используется, и тем самым ненужный объект в памяти не удаляется. Часто бывают случаи, когда созданный объект добавляется в множество, который используется для определенных операций, а после использования не удаляется из множества. И здесь множество удерживает ссылку, и объекты во множестве не подвергаются воздействию сборщика мусора. И тут у нас возникает проблема с утечкой памяти. Сборщик мусора нормально функционирует только при отслеживании всех ссылок на все существующие объекты. И языки программирования, которые допускают преобразование ссылок в другие типы данных не могут иметь сборщика мусора, так как отследить преобразованные ссылки невозможно. Поэтому языки, ориентированные на использование сборки мусора, обычно существенно ограничивают свободу использования указателей, адресной арифметики, преобразований типов указателей к другим типам данных. Но наличие сборщика мусора не освобождает разработчика от управле-

ние памятью, потому что при обнаружении хоть одной ссылки на объект сборщик мусора не удаляет его с памяти. Языки и технологии программирования со сборщиком мусора являются менее эффективными по скорости, потому что он потребляет немало ресурсов машин на котором будет работать. Также для эффективной работы сборщика мусора нужно больше свободной памяти, то есть при большей свободной памяти он реже запускается и тем эффективнее его работа. А чем меньше избыток памяти, тем чаще происходит запуск сборщика и тем больше времени тратится на его выполнение. Это приводит к существенному снижению производительности программы. Кроме того, в системах со сборкой мусора сложнее реализуются низкоуровневые алгоритмы, требующие прямого доступа к оперативной памяти компьютера, поскольку свободное использование указателей невозможно, и прямой доступ к памяти требует наличия специальных интерфейсов, написанных на низкоуровневых языках. С другой стороны, в современных системах со сборкой мусора операция выделения памяти сведена к элементарному добавлению блока в конец кучи, причём куча время от времени уплотняется, уменьшая фрагментацию данных.

При работе с файлами, базами данных, и другими источниками данных в объектно-ориентированных языках программирования используется объекты специальных классов, предназначенных для работы с данными. И если при создании объекта мы подключаемся к источнику данных, то по завершению работы с данными, мы должны закрыть соединение с источником данных. В языках программирования без сборщика мусора это делается перед удалением объекта из памяти, в деструкторах объектов. В системах со сборщиком мусора мы можем выполнять эти действия перед удалением объекта в методе `finally()`, но использование метода `finally()` является небезопасным. И если алгоритм кода в методе `finally()` будет не эффективным, и будет препятствовать удалению объектов без ссылок, то это может привести к проблемам с памятью. В подобных случаях программисту всё равно приходится отслеживать использование объекта вручную и вручную выполнять операции по освобождению занятых объектом ресурсов. В C# специально для этой цели существует интерфейс `IDisposable`, в Java – `Closeable`.

Наличие в C++ деструкторов, технологии автоматического удаление объекта при отсутствии ссылок на него, наличие дополнительных утилит обезопасить от утечки памяти. Это позволяет не тратить лишние ресурсы, но это требует дополнительного кода для освобождения ресурсов, но автоматические деструкторы являются более безопасными, и разработчик будет иметь возможность управлять всем процессом создания и удаления ссылок на объект. В наиболее часто используемых ресурсах во всех популярных языках, поддерживающих автодеструкторы, уже есть автоматические обёртки, которые сами закрывают ресурс, благодаря чему забота о ресурсах становится едва ли не проще, чем с непредсказуемым сборщиком мусора.

Сборщик мусора и ручное управление памятью имеют преимущества и недостатки в определенных моментах программирования, и какой тип управления памятью использовать ложиться на самих разработчиков. И для реше-

ния разных задач используется тот или иной тип управление памятью. Например, для системного программирования и работы с микроконтроллерами, микропроцессорами, а также для создания больших проектов (игровых движков, игр, драйверов, систем управления большими процессами) используется ручное управление памятью, а для создание небольших развлекательных приложений, программ для телефонов, сайтов и т.д. используются языки программирования со сборщиком мусора. К примеру, для разработки приложения под Android используется Java, для создание небольших игр C#, Java и т.д. Однако есть языки, в которых используется комбинация двух методов управления памятью, равно как есть и другие технологии решения той же фундаментальной проблемы. Но такая возможность в практике показало как не самое лучшее решение по работе с памятью, поэтому все современные языки программирования выбирают только один из методов управления памятью.

#### **Список литературы**

1. J. Richter "Garbage Collection: Automatic Memory Management in the Microsoft .NET Framework", Parts 1 & 2, MSDN Magazine, December, 2000.
2. Jones, Richard; Hosking, Antony; Moss, Eliot. The Garbage Collection Handbook: The Art of Automatic Memory Management. CRC Applied Algorithms and Data Structures Series. Chapman and Hall/CRC, 2011. 528 с.
3. Jones, Richard; Lins, Rafael D. Garbage Collection: Algorithms for Automatic Dynamic Memory Management. Wiley, 1996. 403 с.

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ХЕМОСОРБЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА**

***Камалетдинова Г.Р.***

старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Проектирование и моделирование сложных технических систем», к.т.н., Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

***Оневский М.П.***

доцент кафедры «Информационные процессы и управление», к.т.н., доцент, Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

***Скворцов С.А.***

доцент кафедры «Информационные процессы и управление», к.т.н., доцент, Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

Рассматривается вопрос безопасности жизнедеятельности человека и защиты органов дыхания. Проводится аналогия с герметичными модулями обитания и основной акцент сделан на процессе удаления углекислого газа. Проводится анализ существующих подходов к удалению углекислого газа. Обосновывается выбор хемосорбционного процесса. Приводятся основные допущения, необходимые для последующего моделирования.

*Ключевые слова:* средства индивидуальной защиты; углекислый газ; хемосорбционный процесс; моделирование.

Появление новых усложненных технологий производства, а также использование опасных химических соединений, постепенно приводит к возрастанию нагрузки на производственную и экологическую систему. При этом, риск возникновения экологических катастроф существенно возрастает. Следовательно, особую актуальность приобретает анализ влияния негативных экологических факторов на человека, так как ключевой задачей является обеспечение гарантированного уровня безопасности. Для достижения данной цели разрабатываются новые средства индивидуальной защиты человека. Среди них особое внимание уделяется средствам защиты органов дыхания.

Анализ различных литературных источников показывает, что существуют отдельные математические модели, описывающие потоки пылегазовых смесей на опасных производствах, а также в замкнутых объектах (подводные лодки, космические аппараты). Однако мало внимания уделяется влиянию среды и экстренной ситуации на человека. Поэтому необходимо проведение предварительного анализа элементов средства индивидуальной защиты органов дыхания человека (СИЗ) как на стадии разработки, так и на стадии производства.

При разработке СИЗ наибольшее внимание уделяется процессу удаления углекислого газа по аналогии с системами очистки атмосферы замкнутых объектов от углекислого газа и его концентрирования, где основываясь на этих процессах, технологически возможно получение воды.

В случае СИЗ данный подход позволяет перейти от процессов, проходящих в замкнутом объеме к процессам, проходящим в более регенеративного патрона.

#### **Систематизация основных способов удаления углекислого газа**

Для выбора технологического подхода к разработке СИЗ, необходимо выбрать способ удаления углекислого газа.

Методы удаления углекислого газа из подразделяются по фазовому принципу: газ – твердое тело и газ – жидкость – твердое тело. Другим логическим способом типизации является разделение способов очистки на регенеративные и нерегенеративные, что в общем виде может быть представлено схемой, приведенной на рисунке [4].

С технологической точки зрения, использование адсорбционных процессов является более простым подходом, вследствие отсутствия необходимости поиска принципиально новых решений, но при этом, реализация абсорбции позволяет получить более компактное решение, которое будет обладать непрерывностью абсорбционно-десорбционных процессов.

Важно отметить, что технологически выбор метода основывается на анализе надежности, стабильности процессов, сохранении рабочих характеристик в ходе длительной эксплуатации, а также на основе экономичности. Исходя из этого, регенеративные методы удаления углекислого газа являются более приоритетными. Рассмотрим представленные методы подробнее.



Рис. Способы очистки воздуха гермообъектов от углекислого газа

В качестве регенеративных сорбентов в настоящее время используются несколько способов очистки атмосферы, которые отличаются друг от друга характером взаимодействующих фаз, температурой, а также необходимостью создания искусственного силового поля или градиента концентраций.

В системе «газ – твердое тело» в качестве адсорбента применяются молекулярные сита, синтетические цеолиты, обладающие избирательной поглощающей способностью по отношению к углекислому газу. При этом процесс адсорбции может осуществляться в различных условиях, в том числе в космическом полете, так как не зависит от силы притяжения.

Анализ литературных источников показывает, что такие способы очистки, как адсорбция с использованием синтетических цеолитов, абсорбция при осуществлении электрохимических процессов, а также физические способы также могут применяться в различных системах. При этом, адсорбции углекислого газа синтетическими цеолитами регенерация может быть осуществлена вакуумированием, температурным воздействием и другими способами. Среди физических методов очистки выделяются такие способы как диффузия, центрифугирование и вымораживание. При этом стоит отметить, что эти способы достаточно просты и находятся на стадии расчетно-теоретических исследований [5].

Абсорбция углекислого газа при осуществлении электрохимических процессов отличается непрерывностью процесса и одновременным получением кислорода из воды и углекислого газа.

Хемосорбция представляет собой поглощение с образованием нового химического соединения. Это отличает данный способ от рассмотренных выше. Хемосорбционные процессы представляют собой сложную систему тепло-массопереносных и гидромеханических процессов. Стоит отметить, что в это случае тепловые процессы могут накладывать ограничения и накладывать лимитирующий характер на ресурс регенеративных патронов. [1] Образовавшиеся при хемосорбции соединения в обычных условиях устойчивы и не выделяют поглощенное вещество [6].

Организация технологического процесса очистки атмосферы от углекислого газа с его дальнейшим концентрированием в электрохимических устройствах типа кислородо-водородного топливного элемента представляет интерес для описания хемосорбционных процессов. В этом случае массообменные процессы зависят в основном только от скорости электрохимического процесса, что приводит к снятию некоторых ограничений диффузионного характера.

### **Особенности моделирования хемосорбционных процессов**

Вопрос моделирования хемосорбционных процессов является достаточно острым. Для того, чтобы подобрать оптимальную структуру моделирования, выбирается такая структура, которая является наилучшей по критерию минимума интегральной квадратической оценки расхождения экспериментальных и расчетных данных [2], [3].

В общем случае моделирование хемосорбционного процесса проводится на основе кинетического, концентрационных и диффузионных параметров, константы равновесия реакции, массообменного фактора и чисел единиц переноса для физической массопередачи, диффузионных критериев для газа и жидкости, поверхности контакта фаз, количества удерживаемой жидкости, продольного градиента поверхностного натяжения, теплового эффекта реакции.

Для моделирования вводится следующая система допущений [2]:

- газовая смесь является идеальным газом;
- диффузия газовых компонент отсутствует;
- теплофизические свойства системы гранул адсорбционного слоя неизменны во времени;
- тепловой эффект сорбции постоянен;
- тепловые потери в окружающую среду отсутствуют.

На основе принятых допущений были разработаны модели. Результаты моделирования сравнивались с данными, полученными при работе установки «Искусственные лёгкие». Разработанные модели подтвердили адекватность и использованы для проведения имитационных исследований процесса хемосорбции диоксида углерода.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (Соглашение № 15-19-10028).*

### **Список литературы**

1. Аксельрод Ю. В. Газожидкостные хемосорбционные процессы. Кинетика и моделирование. М.: Химия, 1989. 240 с.
2. Камалетдинова Г.Р., Оневский М.П., Скворцов С.А. Структурная идентификация математического описания хемосорбционных процессов в регенеративном патроне // Системы управления и информационные технологии. 2015. № 4-62. С. 78-81.
3. Путин С.Б. Математическое моделирование и управление процессом регенерации воздуха. М.: Машиностроение, 2008. 176 с.
4. Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность. Справочник. Под ред. А. М. Сухотина, А. В. Шрейдера и Ю. И. Арчакова. М.: Химия, 1974. 576 с.

5. Умергалин Т.Г. Математическое моделирование основных химико-технологических процессов. Часть 1. Учебное пособие. Уфа: УГНТУ, 2001. 61 с.
6. Хемосорбция и ее роль в катализе // Проблемы кинетики и катализа. 1970. XIV. URL: <http://chem21.info/page/023022105008243013159062079009195048132216202131/> (дата обращения: 05.04.2016).

## **GSM/GPRS-РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, НАКОПЛЕННЫХ 1-WIRE-СЕТЬЮ ИВ-РЕГИСТРАТОРОВ**

*Карпова Н.М., Галкин С.Ю.*

бакалавры по направлению прикладная информатика,  
Технологический университет, Россия, г. Королев

Рассмотрены вопросы, связанные с организацией передачи данных, накопленных 1-Wire-сетью iВ-регистраторов.

*Ключевые слова:* 1-Wire-сети, iВ-регистраторы, передача данных.

В настоящее время наиболее рациональным выбором беспроводной сети связи для организации дистанционной передачи результатов, накопленных 1-Wire-сетью iВ-регистраторов, представляется сеть стандарта GSM [1-5]. К основным преимуществам данного типа сетей в приложениях удаленного мониторинга можно отнести большую зону покрытия и достаточно развитые службы передачи данных при сравнительно невысокой стоимости передачи информации. Кроме того, сети стандарта GSM на настоящий момент являются наиболее распространенными и надежными опорными беспроводными сетями связи в России [6-8]. Они обеспечивают передачу данных между двумя абонентами в режиме «точка – точка» со скоростью до 9,6 кбит/с (или со скоростью до 171,2 кбит/с при использовании технологии пакетной передачи данных GPRS) [9-12].

В настоящее время, для организации беспроводного доступа к 1-Wire-сетям iВ-регистраторов создан специализированный комплекс iButton Remote Collector / GSM Link (далее iBRCG). Данный комплекс представляет собой оптимальный вариант реализации системы дистанционного мониторинга различных физических величин и технологических параметров удаленных объектов в жестких условиях их эксплуатации (с учётом неблагоприятных воздействий внешних факторов, включая пыль и влагу).

Комплекс iBRCG состоит из множества станций мониторинга, каждая из которых обслуживает отдельную 1-Wire-сеть iВ-регистраторов, расположенную на конкретном ревизуемом удаленном объекте, и множества центральных станций, выполняющих приём данных от станций мониторинга и управление их работой. В состав комплекса можно также включать сотовые телефоны легальных абонентов, имеющих право доступа к станциям мониторинга. В качестве среды информационного обмена комплексом iBRCG наряду с сетями GSM также может использоваться глобальная сеть Интернет.

К основным задачам, решаемым комплексом iBRCCG, относятся дистанционное считывание и передача данных, накопленных iB-регистраторами, а также сигнализация – т.е. оперативное извещение пользователей о возникающих на контролируемом удалённом объекте нештатных ситуациях, которые связаны с особенностями процессов, ревизуемых логгерами, или состоянием оборудования самого комплекса.

Каждая из станций мониторинга формируется непосредственно на одном удалённом объекте. Она состоит из специального устройства беспроводного обмена MLGW06 и 1-Wire-сети iB-регистраторов (рис.).

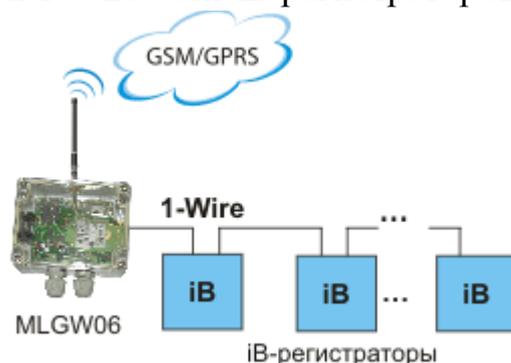


Рис. Структура станции мониторинга

iB-регистраторы фиксируют те или иные параметры конкретного удалённого объекта в соответствии с индивидуальным регламентом, предварительно заданным на этапе инсталляции станции мониторинга с помощью того или иного средства полномасштабной поддержки iB регистраторов. Устройство MLGW06 представляет собой GSM-шлюз, оснащенный 1-Wire-интерфейсом.

По отношению к ведомым логгерам-абонентам 1-Wire-сети, т.е. iB-регистраторам, устройство MLGW06 исполняет роль ведущего (мастера), обеспечивая информационный обмен с каждым из входящих в её состав логгеров. Шлюз модификации MLGW06-TC16 специально предназначен для обслуживания 1-Wire-сетей, состоящих из устройств с максимальным числом обслуживаемых абонентов до 16. Шлюз модификации MLGW06-IBDL8 специально предназначен для обслуживания 1-Wire-сетей, состоящих из регистраторов iBDL с максимальным числом обслуживаемых абонентов до 8. При этом любая из модификаций шлюза MLGW06 обеспечивает:

- передачу накопленной iB-регистраторами измерительной информации (накопленных результатов) и текущего статуса 1-Wire-сети на центральную станцию по запросу;
- передачу на центральную станцию по запросу информации о текущих значениях установочных параметров станции мониторинга и данных о состоянии входящего в её состав оборудования, включая информацию о состоянии шлюза MLGW06 и ведомых им iB-регистраторов 1-Wire-сети;
- автоматическую передачу по каналу GPRS данных, накопленных в памяти iB-регистраторов, либо в виде файлов данных, прикрепленных к email-сообщениям, рассылаемым на адреса электронной почты через определенный SMTP-сервер (максимальное число абонентов-получателей

email-сообщений в списке рассылки – 5), либо в виде файлов, сохраняемых на назначенном FTP-сервере;

- автоматическую отсылку уведомительных SMS-сообщений о нарушении заранее заданных пределов какого-либо контролируемого параметра или об аварии в работе оборудования станции мониторинга (максимальное число абонентов сотовой связи в списке рассылки – 5);

- удалённое изменение значений установочных параметров станции мониторинга с центральной станции и (частично) с мобильного телефона.

Для передачи данных между станцией мониторинга и центральной станцией, сотовыми телефонами легальных пользователей, а также FTP-серверами и SMTP-серверами, используются SMS-сообщения и протоколы передачи данных CSD, GPRS, TCP/IP.

#### Список литературы

1. Артюшенко, В. М. Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов [Текст] / В.М. Артюшенко: монография, ФГБОУ ВПО ФТА. – М., – 2013. – 214 с.

2. Артюшенко, В. М. Электротехнические системы жизнеобеспечения зданий на базе технологий VACNET [Текст] / Монография. – М.: ГОУ ВПО «МГУС», 2006. – 138 с.

3. Артюшенко, В. М. Особенности отражения зондирующих сигналов радиотехнических устройств обнаружения от протяженных объектов сложной формы [Текст] / В.М. Артюшенко, В.И. Воловач // Школа университетской науки: парадигма развития. 2012. № 2-6. С.42-46.

4. Автосервис: станции технического обслуживания автомобилей: Учебник [Текст] / И.Э. Грибут, А.А. Ларионова, В. М. Артюшенко, М.В. Виноградова, Е.В. Поторина и др. / Под ред. В.С. Шуплякова, Ю.П. Свириденко. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, – 2008. – 480 с.

5. Артюшенко, В. М. Информационное обеспечение деятельности предприятий автосервиса [Текст] / В. М. Артюшенко // Промышленный сервис. – 2009. – №4. – С. 3-10.

6. Артюшенко, В. М. Проектирование сетей подвижной связи с кодовым разделением каналов [Текст] / В.М. Артюшенко: монография. – М.: ФГБОУ ВПО ФТА, 2012. – 204 с.

7. Артюшенко, В. М. Повышение эффективности систем спутниковой связи путем оптимизации параметров земных станций [Текст] / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова, Б.А. Кучеров // Радиотехника. – 2015. – № 2. С. 76-82.

8. Артюшенко, В. М. Анализ условий работы системы контроля заполнения путей и ее информационного обеспечения [Текст] / В.М. Артюшенко, В.И. Воловач // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. № 6. С. 115-119.

9. Артюшенко, В. М. Алгоритмы адаптации спутниковой связи по скорости передачи информации земных станций при работе в составе узловой сети [Текст] / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Естественные и технические науки. – 2014. – № 7 (75). – С. 96-100.

10. Артюшенко, В. М. Сбор и обработка виброакустических процессов на борту ракетно-космической техники [Текст] / В.М. Артюшенко, В.А. Бекетов, С.В. Кузьмин, А.Ю. Майданов, А.П. Мороз, В.И. Привалов // Приволжский научный вестник. – 2014. – №4 (32). С. 42-45.

11. Артюшенко, В. М. Моделирование скорости передачи информации земных станций при работе в составе узловой сети [Текст] / В. М. Артюшенко, Б. А. Кучеров // Austrian Journal of Technical and Natural sciences. – 2014. – № 7-8. – С. 96-99.

12. Артюшенко, В. М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех [Текст] / В. М. Артюшенко: монография. – Королев МО: Изд-во «Канцлер», 2014. – 298 с.

# ПОДБОР ШИН НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ И ВЕЗДЕХОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Котиев Г.О.**

заведующий кафедрой «Колесные машины», д-р техн. наук, профессор,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, г. Москва

**Шаринов В.М.**

советник ректора по научной работе, д-р техн. наук, профессор,  
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

**Щетинин Ю.С.**

профессор кафедры «Автомобили и ТТС», канд. техн. наук, профессор,  
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

**Хашем Манафи Шейдан**

аспирант кафедры «Автомобили и ТТС»,  
Университет машиностроения, Россия, г. Москва

Рассмотрена методика подбора шин низкого давления для сельскохозяйственных тракторов и вездеходных транспортных средств на примере, когда вертикальная нагрузка на шину составляет 50 кН, а максимальная скорость движения машины – 50 км/ч.

Даны рекомендации по подбору шин из существующей номенклатуры, производимой в России и за рубежом.

*Ключевые слова:* трактор, вездеходное транспортное средство, пневматическая шина, грузоподъемность шины, уплотняющее воздействие на опорную поверхность.

Подбор шин для тракторов и вездеходных транспортных средств (ВТС) выполняют [1]:

1) по грузоподъемности шины при заданном в ней внутреннем давлении воздуха и максимальной скорости движения;

2) по уплотняющему воздействию движителя на почву (УВП). Этот показатель определяет проходимость колесного трактора и ВТС и экологическое воздействие движителя на опорную поверхность.

Оценка УВП необходима для машин, эксплуатируемых на деформируемых грунтах (тракторов, многоцелевых автомобилей и ВТС) [2-4].

В настоящее время оценка УВП колесных машин осуществляется по методике, приведенной в ГОСТ 26953-86 [5], ГОСТ 26954-86 [6] и ГОСТ 26955-86 [7].

Оценочными показателями УВП являются:

- максимальное давление движителя на почву –  $p_{max}$  ;

- нормальное напряжение  $\sigma_{0,5}$  в почве на глубине 0,5 м.

Эти показатели сравниваются с нормативными показателями [ $p_{max}$ ] и [ $\sigma_{0,5}$ ]. Для колесной машины  $p_{max}$  определяется из выражения [5]:

$$p_{max} = q_k K_2 ,$$

где  $q_k$  – среднее давление колеса на почву, кПа;  $K_2 = 1,5$  – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины.

$$q_k = Q/S_{пр} ,$$

где  $Q$  – вертикальная нагрузка на колесо, кН;  $S_{пр}$  – приведенная к условиям работы на почвенном основании площадь контакта шины колеса с почвой, м<sup>2</sup>.

$$S_{пр} = S_k K_1,$$

где  $S_k$  – площадь контакта шины на жестком основании, м<sup>2</sup>;  $K_1$  – коэффициент, зависящий только от наружного диаметра  $D$  шины (см. табл. 1).

Таблица 1

**Зависимость коэффициента  $K_1$  от диаметра  $D$  шины**

$D$ , м	До 0,6	Св. 0,6 до 0,8	Св. 0,8 до 1,0	Св. 1,0 до 1,2	Св. 1,2 до 1,5	Свыше 1,5
$K_1$	1,6	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1

Максимальное нормальное напряжение в почве  $\sigma_{0,5}$  на глубине 0,5 м для каждого единичного колесного движителя вычисляется по формуле [6]:

$$\sigma_{0,5} = 0,637 p_{ср} \left[ \arctg \frac{ab}{0,5 \sqrt{a^2 + b^2 + 0,25}} + \frac{0,5 ab(a^2 + b^2 + 0,5)}{(a^2 + 0,25)(b^2 + 0,25)\sqrt{a^2 + b^2 + 0,25}} \right].$$

Здесь  $a$  и  $b$  – соответственно половина длины и ширины прямоугольной площади контакта, м.

$$a = S_{пр}/2b_{ш}; \quad b = b_{ш}/2,$$

где  $b_{ш}$  – ширина отпечатка контурной площади контакта шины (определяется измерением наибольшего размера отпечатка в плоскости, перпендикулярной направлению вращения колеса), м.

Согласно ГОСТ 26955-86 [7] нормы максимального давления движителей на суглинистую и глинистую почву и нормального механического напряжения в почве должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 2, где НВ – наименьшая влагоемкость почвы.

Таблица 2

**Нормы максимального давления движителей на суглинистую и глинистую почву и нормального механического напряжения в почве**

Влажность почвы	$[p_{max}]$ , кПа		$[\sigma_{0,5}]$ , кПа	
	Весенний период	Летне-осенний период	Весенний период	Летне-осенний период
Св. 0,9 НВ	80	100	25	30
Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ	100	120	25	30
Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ	120	140	30	35
Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ	150	180	35	45
0,5 НВ и менее	180	210	35	50

Для супесчаных почв нормы  $[p_{max}]$  увеличивают на 20%. Для техники, используемой на почвах с влажностью менее 0,9 НВ, нормы  $[p_{max}]$  увеличи-

вают на 25% и 15% при нагрузке на колесо не более соответственно 8 кН и 16 кН. Для ведомого колеса  $[p_{max}]$  увеличивают на 10%.

Нормы максимального давления для всех колесных движителей ( $N$ ), перемещающихся по одному следу, уменьшают на 5% при  $N=3$ , на 10% при  $N = 4$ , на 15% при  $N=5$ , на 20% при  $N = 6$  и более, а при  $N = 1$  увеличивают на 10%. Здесь  $N$  – количество единичных колесных движителей в агрегате, перемещающихся по одному следу. При определении  $N$  не учитывают движители, нагрузка на которые менее 20% от максимальной нагрузки на любой единичный движитель агрегата.

Для определения показателей  $p_{max}$  и  $\sigma_{0,5}$  необходимо найти величины площади контакта  $S_k$  шины на жестком основании и ширины отпечатка  $b_{ш}$  контурной площади контакта. ГОСТ 26953-86 [5] предполагает использовать для этого результаты эксперимента.

Ввиду их отсутствия на данном этапе исследований были использованы теоретические зависимости, приведенные в работе [4], согласно которым:

$$S_k = \frac{\pi}{4} a_k b_{ш}; \quad a_k = C_a \sqrt{D h_{ш} - h_{ш}^2};$$

$$b_{ш} = 2 \sqrt{2 r'_c h_{ш} - h_{ш}^2}; \quad r'_c = \frac{b_{п} + H}{2,5};$$

$$r'_c = \frac{b_{п} + H}{2,5}; \quad H = \frac{(D - d)}{2};$$

$$C_a = \frac{20,5}{11,9 + [D/b_{п} - (n - 9)/2 - 3]}.$$

Здесь  $D$  – наружный диаметр шины, м;  $h_{ш}$  – статический прогиб шины, м;  $r'_c$  – приведенный радиус поперечного сечения шины, м;  $b_{п}$  – ширина профиля шины, м;  $H$  – высота профиля шины, м;  $d$  – посадочный диаметр шины, м;  $n$  – норма слойности.

Подбор шин для сельскохозяйственных тракторов и ВТС рассмотрим на примере, когда вертикальная нагрузка на шину  $Q = 50$  кН, а максимальная скорость движения машины  $V = 50$  км/ч.

Характеристики шин, отвечающих требованиям по максимальной грузоподъемности, приведены в табл. 3 (характеристики шин взяты из [3] и из сети Интернет).

У большинства шин, приведенных в табл. 3, максимальная скорость движения (40 км/ч) не соответствует требованиям технического задания (50 км/ч).

Для применения таких шин необходимо выполнить их доработку с целью увеличения скорости движения до 50 км/ч.

Здесь необходимо отметить, что тракторные шины являются шинами низкого давления и по тягово-сцепным свойствам они отвечают требованиям, предъявляемых к ним ВТС. Это связано с тем, что трактор является в первую очередь тяговой машиной, которая большую часть времени эксплуатируется на деформируемых грунтах. Правильный подбор шин для трактора должен обеспечивать ему высокие тягово-сцепные свойства и проходимость на грун-

тах с малой несущей способностью. Эти же требования распространяются и на шины ВТС, работающего без прицепа и с прицепом. Следовательно, при подборе шин для ВТС можно использовать методы, применяемые для подбора шин для тракторов.

Таблица 3

**Характеристики шин для тракторов и ВТС**

Шина	Индекс несущей способности и категория скорости	Давление воздуха в шине $p$ , кПа	Максимальная допустимая нагрузка на шину, кН	Максимальная скорость $V$ , км/ч	Наружный диаметр $D$ , мм	Ширина профиля $b_{ш}$ , мм
710/70R38	166A8	160	53	40	1959	716
VOLTYRE	166D	160	53	65	1959	716
AGRO DR-109						
710/70R38	166D	160	53	65	1959	716
Бел-179						
30.5LR32	167A8	160	54,5	40	1820	775
66×43.00R25	165A8	160	51,5	40	1650	1052
Днепрошина						
800/65R32	167A8	160	54,5	40	1820	800
DR-103 TyRex						
Agro Rosaba						
800/70R38	178D	240	75	65	2085	798
800/65R32	172A8	240	63	40	1853	818
1050/50R32	181B	320	82,5	50	1893	1059
900/60R32	178B	320	75	50	1893	886
71×47,00-25 Ф-82	164A8	160	50	40	1765	1170
Днепрошина						

При оценке УПВ шины на опорную поверхность принято, что максимальная вертикальная нагрузка на шину  $Q = 50$  кН. Предполагалось, что давление воздуха в шине будет выбираться из соображений максимально допустимого статического прогиба  $h_{max}$ , обеспечивающего достаточную ее долговечность [1]. Для ведущих колес принималось, что  $h_{max} = 0,19 H$  [8]. В результате для шины 710/70R38 получили  $h_{max} = 96$  мм, а статический радиус колеса  $r_{ст} = 884$  мм, что хорошо согласуется с данными по этой шине, где указано значение  $r_{ст} = 887 \pm 22$  мм.

Результаты выполненных расчетов для всех шин, представленных в табл. 3, приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты теоретической оценки показателей шин для тракторов и ВТС**

Шина	$D$ , мм	$b_{ш}$ , мм	$d$ , мм	$h_{max}$ , мм	$r_{ст}$ , мм	$S_{пр}$ , м <sup>2</sup>	$p_{max}$ , кПа	$\sigma_{0,5}$ , кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109	1959	716	950	96	884	0,49	140	53,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
710/70R38 Бел-179	1959	716	950	96	884	0,49	140	53,3
30.5LR32	1820	775	800	97	813	0,51	134	52,2
66×43.00R25 Днепрошина	1650	1052	625	97	728	0,6	113	48,2
800/65R32	1820	800	800	97	813	0,52	131	51,7
800/70R38	2085	798	950	108	935	0,60	113	47,7
800/65R32	1853	818	800	100	826	0,55	124	50,3
1050/50R32	1893	1059	800	104	843	0,68	101	45,0
900/60R32	1893	886	800	104	843	0,61	113	47,8
71×47,00-25 Ф-82 Днепрошина	1765	1170	625	108	774	0,74	92,7	43,0

### Выводы

1. Шины 710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109 и 66×43.00R25 Днепрошина по максимальному давлению  $p_{max}$  на опорную поверхность на большинстве видов грунтов и различной их влажности удовлетворяют требованиям уплотняющего воздействия по ГОСТ. При этом у шины 710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109 индекс несущей способности и категория скорости должен соответствовать обозначению 166D. Для шины 66×43.00R25 Днепрошина необходимо увеличить категорию скорости до значения не ниже В.

По величине плотности грунта  $\sigma_{0,5}$  на глубине залегания 0,5 м шина 66×43.00R25 Днепрошина удовлетворяет требованиям ГОСТ даже на суглинистых и глинистых грунтах при влажности меньше 0,5НВ, а шина 710/70R38 VOLTYRE AGRO DR-109 практически близка к требованию ГОСТ. На других грунтах эти шины будут полностью соответствовать требованиям ГОСТ по УВП.

2. Более перспективными к применению являются шины 71×47,00-25 Ф-82 Днепрошина, обеспечивающие лучшие показатели по величине УВП. Однако с целью повышения скорости движения машины до 50 км/ч необходимо увеличить категорию скорости шины до значения не ниже В.

3. Шины 800/65R32 (категория скорости D) , 1050/50R32 (категория скорости В) и 900/60R32 (категория скорости В) полностью удовлетворяют требованиям по скорости движения ВТС, обеспечивают хорошие показатели по величинам УВП и имеют существенный запас грузоподъемности. При уменьшении в них давления воздуха можно снизить их грузоподъемность до 50кН и улучшить показатели УВП. Однако для этого потребуется проведение стендовых экспериментальных исследований указанных моделей шин.

### Список литературы

1. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
2. Острецов А.В., Шарипов В.М., Бернацкий В.В. и др. Исследование опорной проходимости автомобилей с учетом несовпадения колеи передних и задних колес // Известия МГТУ «МАМИ». 2015. № 1(23). Т.1. С. 78-83.

3. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельхозмашин. М.: Издательство стандартов, 2003. 21 с.
4. Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. и др. Тракторы. Теория / Под общ. ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
5. ГОСТ 26953-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Издательство стандартов, 1986. С. 8-18.
6. ГОСТ 26954-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве. М.: Издательство стандартов, 1986. С. 19-22.
7. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. М.: Издательство стандартов, 1986. С. 1-7.
8. Бойков В.П., Белковский В.Н. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин. М.: Агропромиздат, 1988. 240 с.

## **ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

***Мусохранов М.В.***

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

***Калмыков В.В.***

старший преподаватель кафедры технологий машиностроения,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Россия, г. Калуга

***Малышев Е.Н.***

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

***Попков В.М.***

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

Рассматривается структура поверхностного слоя деталей машин формируемого технологией их изготовления. Традиционное объяснение структуры дополняется энергетической теорией. Понятие поверхностная энергия становится качественным показателем объектов производства в машиностроении. Для создания определенного энергетического состояния контактирующих поверхностей, при котором возникают связи, предложено учитывать влияние операций технологического процесса.

*Ключевые слова:* поверхность детали, качественные характеристики, поверхностная энергия.

В машиностроении под поверхностью детали понимают ее наружный слой, который по строению и другим физическим свойствам отличается от основного материала. Совокупность свойств, приобретаемых поверхностью детали в результате ее обработки, характеризуется обобщенным понятием «качество поверхности» [1, 10].

Качество поверхности характеризуется следующими основными параметрами:

1) микрогеометрией поверхности: степенью остроты впадин и выступов микронеровностей; волнистостью и т.д.;

2) структурой поверхностного слоя: кристаллическим строением; наличием макро-, микродефектов; наличием структурных превращений в поверхностном слое (закалка, отпуск, старение и др.);

3) степенью деформации металла в поверхностном слое: деформацией внутри отдельных зерен; деформацией совокупности зерен (по слоям);

4) наклепом поверхностного слоя: глубиной и степенью наклепа; наличием в поверхностном слое чрезмерно наклепанного металла с частично разрушенной кристаллической решеткой;

5) остаточными напряжениями: знаком напряжений; величинами и распределением их по глубине; соотношением между остаточными напряжениями 1, 2, и 3-го родов [2, 5];

6) прочими параметрами (оптическими, магнитными, электрическими, адгезионными, энергетическими) [4, 8, 9].

Поверхность после механической обработки выделяется большой неоднородностью как по химической активности, так и по физико-механическим свойствам рис. [2]. Более того, во внешнем слое образуются дефекты, которые являются основной причиной развития микротрещин. Таким образом, под качеством поверхностного слоя деталей, подразумевается совокупность геометрических, физических, химических и механических характеристик поверхностного слоя, определяющих состояние поверхности.

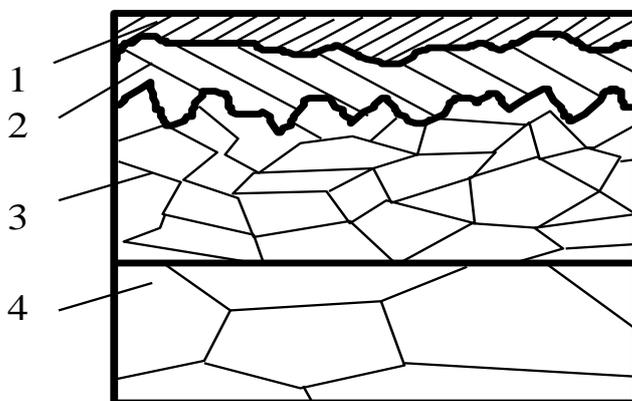


Рис. Строение поверхностного слоя

1 – слой адсорбированных молекул жидкостей и газов; 2 – слой оксидов;

3 – слой деформированных кристаллитов в процессе изготовления;

4 – основной слой материала детали

Кристаллы основного материала детали окружены «соседями» со всех сторон, в то время как находящиеся во внешнем слое, не имеют «соседей» с наружной стороны [7]. В следствии этого поверхностный слой обладает избыточной потенциальной энергией. Этот избыток энергии, отнесенный к единице поверхности, называется удельной поверхностной или просто поверхностной энергией. Любое кристаллическое тело обладает внутренней и поверхностной энергией [4].

Сгущение энергии на поверхности объясняется тем, что действующие на молекулу внутри твердого тела молекулярные силы со стороны «соседей» взаимно компенсируются и дают равнодействующую, равную нулю. В поверхностном слое такой компенсации нет и на поверхностные молекулы действуют силы, направленные внутрь. Эти силы компенсируются сжатием поверхностного слоя (в итоге он оказывается упруго сжатым), что вызывает сгущение энергии [6].

Необходимо отметить, что в технологическом комплексе первые операции обычно влияют слабее чем финишные, но все же их влиянием пренебрегать нельзя [3]. Большое влияние на свойства будущей детали оказывают термические операции, сопровождающиеся поверхностным упрочнением деталей. Технологические факторы, вызванные металлургическим процессом и при выполнении кузнечно-штамповочных операций, проходят в дальнейшем всю технологическую цепочку и оказывают сильное влияние на формирование окончательных характеристик обработанных поверхностей, а, следовательно, на усталостную прочность деталей и их износостойкость [2, 10].

При поверхностном пластическом деформировании металла имеет место искажение его кристаллической решетки. На элементарных участках, где искажения кристаллической решетки достигли предельной величины, при дальнейшем дополнительном искажении в том же направлении, вызванном даже финишной операцией, могут возникнуть микротрещины. При одинаковом направлении сдвигов микронарушения поверхностного слоя усиливаются, и, наоборот, при несовпадающих направлениях микротрещины более интенсивно будут закрываться (смыкаться) [2]. Отсюда вытекает важный практический вывод: где возможно, необходимо осуществлять технологический процесс таким образом, чтобы последовательно выполняемые шлифовальные, доводочные и полировальные операции выполнялись не в одном (совпадающем) направлении движения режущих элементов относительно обрабатываемой поверхности, а в противоположных или в пересекающихся. В этом отношении предпочтительнее операции хонингования, суперфиниширования, при которых на обработанной поверхности образуется «сетка», представляющая собой след перекрещивающихся траектории движения абразивных зерен. При такой обработке поверхность получается более цельной, с меньшей степенью разрыхления и нарушения правильного кристаллического строения. Все перечисленные параметры оказывают влияние на поверхностную энергию и тем самым указывают на наличие связи между поверхностной энергией отделочными операциями. Поэтому и при полировании абразивным полотном наряду с основным следует сообщать поперечные осциллирующие движения.

При выполнении полного комплекса технологических операций в поверхностных слоях происходят сложные процессы взаимодействия имеющих и вновь созданных зон наклепов, напряжений и т.д. Таким образом проявляется связь поверхностной энергии и физико-механических свойств,

сформированных в поверхностных слоях на предыдущих операциях, с физико-механическими свойствами, формирующимися на последующих операциях [6]. Другими словами, пооперационное взаимодействие состояний поверхностного слоя есть не что иное, как проявление технологической наследственности при механической обработке деталей машин.

Рассматривая процессы, происходящие в поверхностных слоях, необходимо выявить параметры, изменяя которые можно получить деталь с нужными свойствами. Существующие физико-механические характеристики необходимо дополнить новыми показателями. Они должны быть связаны с энергетическими свойствами поверхностного слоя деталей. В первую очередь, следует использовать такие показатели, на значения которых может повлиять технолог.

#### Список литературы

1. Анцев В.Ю., Витчук П.В. Обеспечение долговечности лифтовых канатопроводящих шкивов // Тяжелое машиностроение. № 11-12. 2013. С. 37-41.
2. Маталин А.А. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства деталей. – М.: Вестник машиностроения, 1985.
3. Малышев Е.Н., Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Антонюк Ф.И. Распределение энергии технологического воздействия при формировании рабочих поверхностей деталей машин из металлических материалов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17560> (дата обращения: 21.07.2016).
4. Мусохранов М.В. Поверхностная энергия как показатель качества поверхностного слоя // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2005. № 12. С. 62.
5. Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Герасимова Н.С., Малышев Е.Н. Остаточные напряжения в энергетической теории процесса схватывания поверхностей деталей машин // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-2. – С. 311-314; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39411> (дата обращения: 11.05.2016).
6. Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Зенкин Н.В. Энергия поверхностного слоя металлов как инструмент воздействия на величину коэффициента трения // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-2. – С. 251-254; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=36797> (дата обращения: 05.06.2016).
7. Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Сорокин С.П. Энергетические показатели качества деталей машин и методы их измерения // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10-1. – С. 43-49; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39121> (дата обращения: 21.07.2016).
8. Суслов А.Г., Медведев Д.М., Шоев А.Н. Энергетический подход к технологическому обеспечению износостойкости поверхностей трения деталей машин // Вестник машиностроения. 2011. № 10. С. 56-59.
9. Суслов А.Г., Медведев Д.М., Шоев А.Н. Технологическое повышение долговечности поверхностей трения деталей машин на базе энергетического подхода // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2011. № 6. С. 46-48.
10. Ящерицын П.И., Зайцев А.Г., Барботько А.И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. – Минск: Наука и техника, 1976. – 328 с.: ил.

# **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ УСТАНОВЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ И ВОЗМОЖНЫЕ АЛГОРИТМЫ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ**

*Назарьев А.В.*

аспирант кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов», Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Россия, г. Саратов

*Бочкарёв П.Ю.*

заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов», д-р техн. наук, профессор, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Россия, г. Саратов

В статье рассматривается проблема обеспечения эффективного производства высокоточных изделий машиностроения на основе установления взаимосвязи между технологической подготовкой изготовления и сборки, формируется структура комплексного подхода (комплекса проектных процедур), учитывающего данную взаимосвязь и реально складывающуюся производственную ситуацию. Также анализируются возможные алгоритмы реализации комплекса проектных процедур в автоматизированной системе планирования технологических процессов.

*Ключевые слова:* комплекс проектных процедур, высокоточные изделия, технологическая подготовка производства, конфигурационные пространства, граф технологического процесса.

В настоящее время проблема совершенствования машиностроительных производств приобретает первостепенное значение, т.к. развитие данной отрасли происходило стихийно, что в итоге сделало ее расточительной в расходе материальных, энергетических и трудовых ресурсов, отрицательно влияющей на состояние окружающей среды и т.п. Особенно ярко это проявляется при изготовлении высокоточных узлов, применяемых в изделиях для авиационно-космической промышленности, прецизионного станкостроения, двигателестроения и пр., т.к. данные отрасли характеризуются жесткими, постоянно возрастающими требованиями к качеству изготовления машин. Обеспечение данных требований существующими методами связано в основном с чрезмерными проблемами, решение которых достигается в большинстве случаев затратными способами в виде многочисленных переборок, доработок и уточнения конструкции, поскольку эти требования в серийном производстве находятся на грани максимально технологически достижимых. Кроме того, значительные трудности, особенно на этапе сборочного производства, вызывает влияние непознанных и неуправляемых причин, вызывающее непрогнозируемый разброс заданных эксплуатационных характеристик [1], [2].

В связи с тем, что основными особенностями эффективного функционирования машиностроительных предприятий являются сжатые сроки и вы-

сокое качество технологической подготовки производства (ТПП), необходимо создание комплексного подхода (комплекса проектных процедур) к решению существующих задач в машиностроении, особенно сборки высокоточных изделий [2].

На сегодняшний день наблюдаются разрозненные решения отдельных задач этой проблемы, таких как повышение качества и точности собираемых изделий, снижение затрат на материалы, внедрение ресурсосберегающих технологий и т.п., отсутствует наиболее приближенная к реальным требованиям концепция системы в целом [1].

Предлагается подход, который основывается на установлении связи между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств, с учетом требований, заложенных при проектировании изделия. В общем виде связь представлена на рис. 1. Данный подход позволит в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать оптимальные технологические процессы обработки элементов, учитывающие требования последующей сборки. Что, в свою очередь, позволит снизить трудоемкость изготовления, время изготовления и стоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, сократить время и трудоемкость при технологической подготовке производства.



Рис. 1. Связь между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств, с учетом требований, заложенных при проектировании высокоточных изделий

Реализация комплекса проектных процедур подразумевает анализ требований к сборке изделия и возможных технологических процессов обработки их элементов (далее технологических процессов) и выбор на основе анализа оптимальных технологических процессов. Данный анализ включает в себя несколько этапов:

1. Учет требований конструкторской и технологической документации (точность, качество, последовательности при изготовлении и сборке деталей (сборочных единиц) и т.д.).

В отечественном производстве сложилась тенденция к заданию допусков на двумерных чертежах отдельных деталей, получаемых из 3D моделей САД-систем, т.к. в геометрических моделях современных систем автоматизированного проектирования (САПР) используется только номинальная геометрия, а допуски носят характер аннотаций [3]. Данная концепция является препятствием на пути автоматизации ТПП, т.к. файлы 3D моделей сборок не содержат данных о допусках и размерных взаимосвязях в сопряжениях деталей сборок, что сказывается на сроках ТПП и качестве конечного продукта.

Для автоматизации данного этапа может быть применена математическая модель представления и анализа деталей и сборок (в том числе и высокоточных) с использованием понятия конфигурационного пространства [3].

На рис. 2 показаны высокоточное изделие «Гиромотор» и отдельные требования к его сборке. Алгоритм с применением теории конфигурационных пространств для размерного анализа сборок с допусками рассмотрим на примере детали «Прокладка», входящей в высокоточное изделие «Гиромотор» (рис. 3).

На поверхности детали заданы допуски  $\varnothing S_1, \odot S_1, \varnothing S_2, \varnothing S_3$ . Для реализации алгоритма размерного анализа конфигурационное пространство сборки (в данном случае «сборка» представляется одной деталью) описывается в виде структуры данных, представляющих собой массив вида:

$$\left\| \begin{array}{l} K(\varnothing^1 S_1; \odot^1 S_1), \varnothing^1 S_2, \varnothing^1 S_3; \\ K(\varnothing^1 S_1; \odot^1 S_1), \varnothing^1 S_2, \varnothing^2 S_3; \\ \dots \end{array} \right\|$$

Каждая запись вида  $\{K(\varnothing^1 S_1; \odot^1 S_1), \varnothing^1 S_2, \varnothing^1 S_3\}$  представляет собой точку конфигурационного подпространства сборки (т.е. один вариант сочетаний всех крайних значений отклонений, назначенных на данную сборку (узел)). Точка конфигурационного пространства, в свою очередь, состоит из конфигурационных пространств поверхностей:

$$\left\{ \frac{\varnothing^1 S_1}{\text{КП пов} - \text{ти 1}} \right\} \left\{ \frac{K(\varnothing^1 S_2; \odot^1 S_2)}{\text{КП пов} - \text{ти 2}} \right\} \left\{ \frac{\varnothing^1 S_3}{\text{КП пов} - \text{ти 3}} \right\}$$

Индекс  $K$  обозначает комбинирование нескольких допусков, назначенных на одну поверхность. Число вариантов всех сочетаний вычисляется по формуле:

$$N = \prod_{i=2}^k C_i$$

где  $C_i$  – количество точек конфигурационного пространства  $i$ -ой поверхности

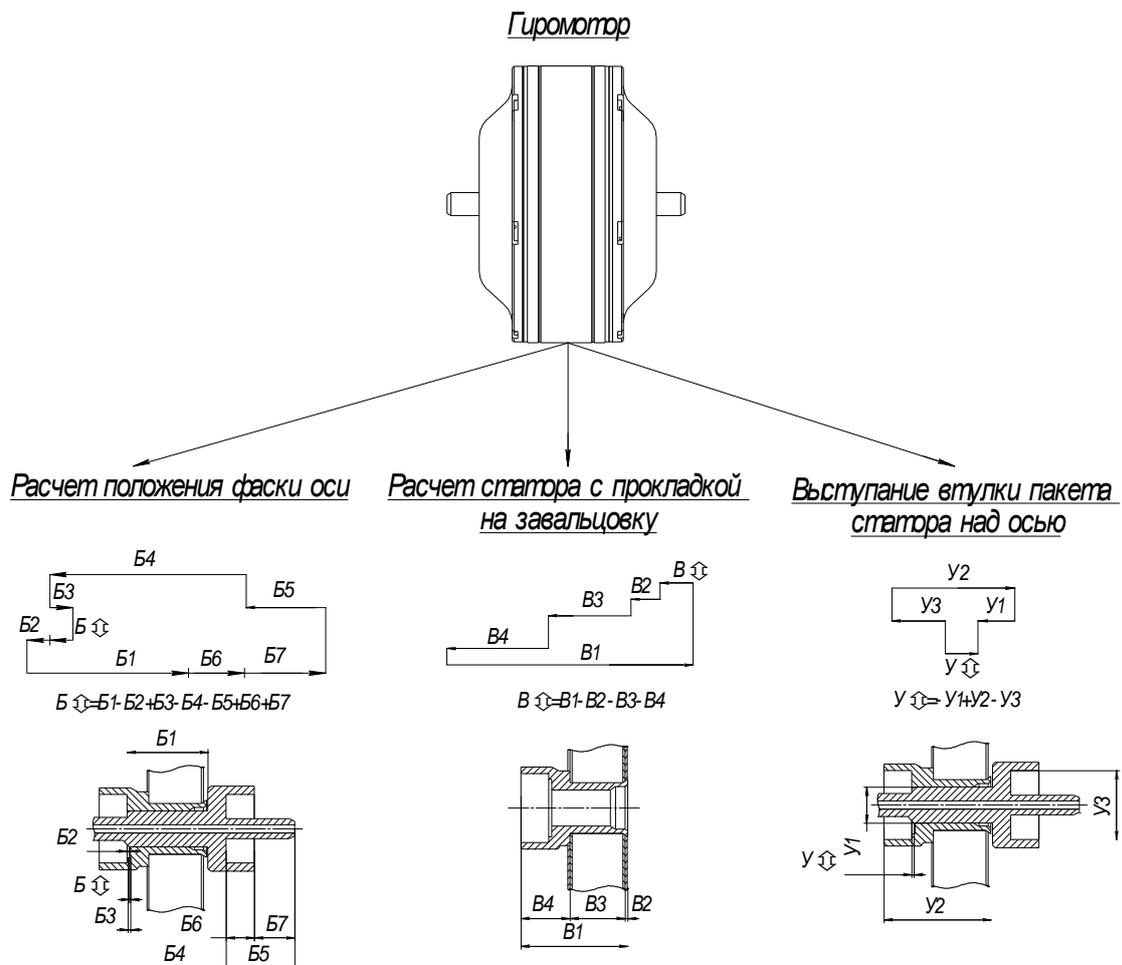


Рис. 2. Высокоточное изделие «Гиромотор» и расчет отдельных требований к его сборке» (буквами А, Б и У обозначены конструкторские размеры деталей и сборочных единиц, участвующие в расчете каждого из требований)

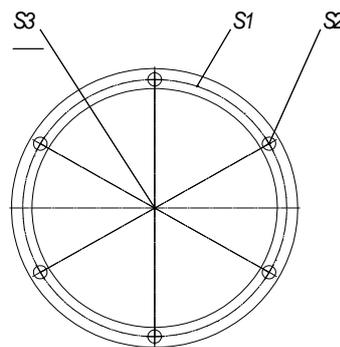


Рис. 3. Деталь «Прокладка»

Таким образом, данный алгоритм может быть применен для задания не только номинальных значений размеров сборки (детали), но и всех необходимых допусков и пространственных отклонений.

2. Выбор деталей (сборочных единиц), входящих в высокоточное изделие и создание возможных технологических процессов их механической обработки.

Разработка технологических процессов неавтоматизированными методами в условиях многономенклатурного производства позволяет сравнивать ограниченное число вариантов на отдельных этапах проектирования, что

приводит к потере качества технических решений и увеличению сроков ТПП. Одним из подходов, позволяющих автоматизировать ТПП, является концентрация гибких технологических процессов. Данный подход является основой разрабатываемой в Саратовском государственном техническом университете имени Ю.А. Гагарина автоматизированной системы планирования технологических процессов, обеспечивающей параллельное проектирование технологических процессов в рассматриваемый период времени с учетом реально складывающейся производственной ситуации [4], [5]. Автоматизированная система позволит в зависимости от конкретных производственных условий сгенерировать возможные технологические процессы механической обработки деталей.

3. Проведение размерного анализа возможных технологических процессов. Выявление технологических процессов, удовлетворяющих требованиям сборки изделия и конструкторской документации на деталь (сборочную единицу) по заданным параметрам. В общем виде данный пункт представлен на рис. 4.

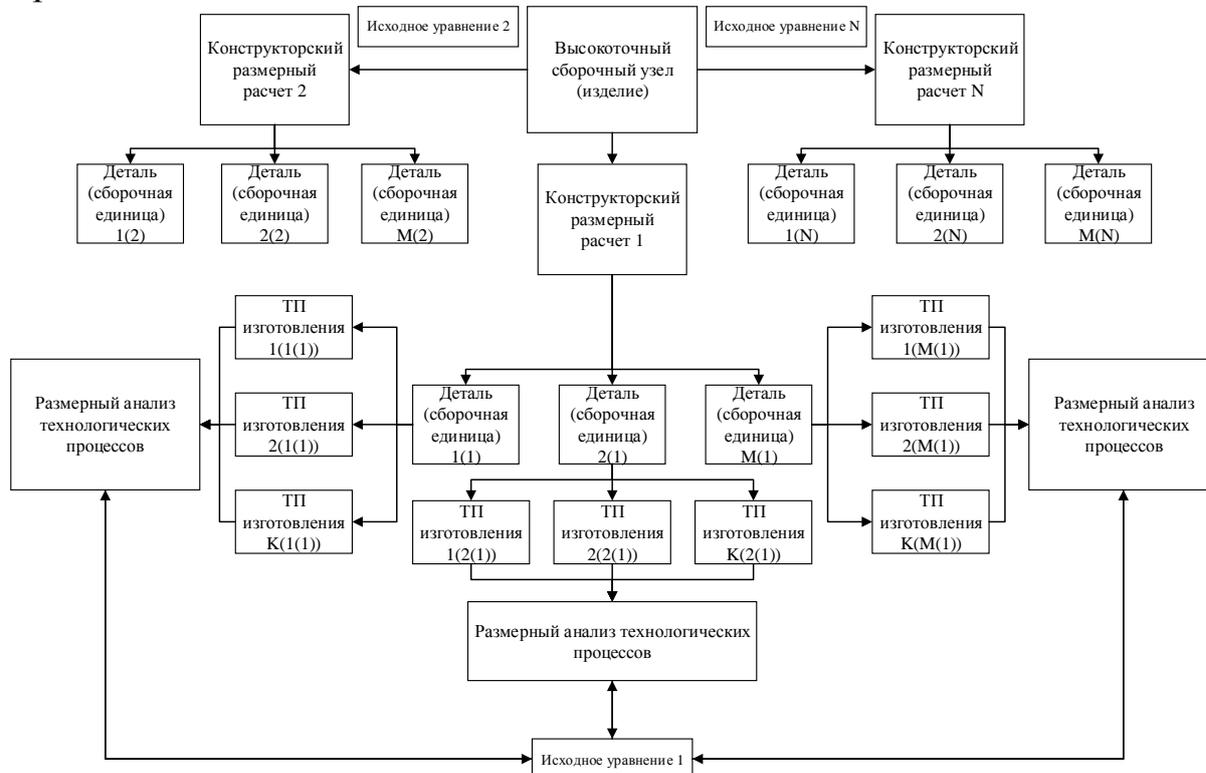


Рис. 4. Схема выявления оптимальных технологических процессов механической обработки деталей в общем виде

Размерные связи деталей представляются графом, вершины которого обозначают элементарные поверхности, а ребра – размерные связи между ними. Граф представляет собой совмещение двух деревьев: производного и исходного. Производное дерево отображает технологические размеры, а исходное дерево – конструкторские размеры и размеры припусков. Таким образом, граф технологического процесса позволяет в закодированной форме представить геометрическую структуру технологического процесса обработки и является его математической моделью [6]. Применение таких математи-

ческих моделей позволит выбирать технологические процессы обработки элементов, удовлетворяющие требованиям по точности изготовления и требованиям сборки изделия.

На рис. 5 представлены размерные схемы двух вариантов технологических процессов для детали «Втулка» и их расчет на точность с применением теории графов (радиальное направление), где буквой *A* обозначены конструкторские размеры, буквой *T* – технологические размеры, буквой *Z* – размер исходной заготовки, буквой *Z* – припуски на механическую обработку.

Для автоматизации расчета технологических размерных цепей может быть использован алгоритм, исходными данными для которого являются граф технологического процесса и размерные цепи [7].

Преимущества данного алгоритма: отсутствие необходимости выявления увеличивающих и уменьшающих звеньев, отдельных размерных цепей и составления уравнений расчета; для расчета всех размеров и их допусков требуется составить только две матрицы смежности – допусков и средних размеров и размерную цепь; алгоритм не требует особой нумерации поверхностей; позволяет автоматизировать расчеты цепей отклонения формы и расположения; одинаково подходит для размерного расчета технологических процессов деталей как типа «тело вращения», так и для более сложных изделий, конусных элементов.

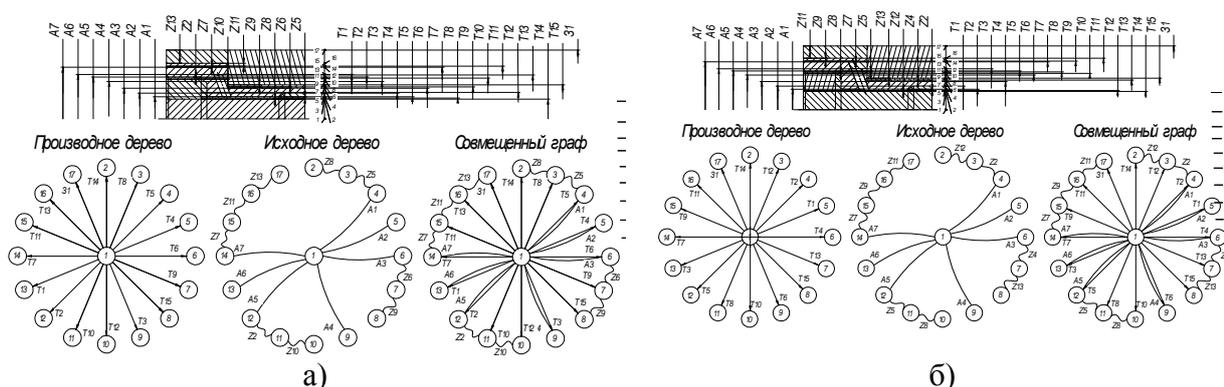


Рис. 5. Размерная схема и расчет на точность для технологического процесса №1 детали «Втулка» (а) и размерная схема и расчет на точность для технологического процесса №2 детали «Втулка» (б)

4. Выбор технологических процессов с минимальным временем, затраченным на их реализацию, и минимальным количеством поверхностей (количество поверхностей соответствует количеству вершин графа расчета на точность технологического процесса).

В данной статье была представлена структура и проанализированы возможные решения реализации комплекса проектных процедур, обеспечивающего эффективное выполнение сборочных операций на основе связи между ТПП обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий машиностроения с учетом требований, заложенных при проектировании изделия. Реализация данного подхода в автоматизированной системе планирования технологических процессов является актуальной, т.к. комплекс проектных процедур позволит учитывать реально складывающуюся произ-

водственную ситуацию и выбирать оптимальные технологические процессы обработки элементов изделий с учетом требований сборки. Что, в свою очередь, позволит снизить трудоемкость изготовления, время изготовления и стоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, сократить время и трудоемкость при ТПП.

#### Список литературы

1. Семенов, А.Н. Проблемы теоретического обеспечения сборки высокотехнологичных изделий // Инструмент и технологии. 2004. № 21 – 22. С. 122-124.
2. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: учебник / Б. М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
3. Шабалин, А. В. Конфигурационные пространства для оценки собираемости изделий машиностроения с пространственными допустимыми отклонениями [Рукопись]: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / А. В. Шабалин; Иркут. гос. техн. ун-т. – Иркутск, 2011. – 170 с.
4. Митин, С.Г. Инновационные аспекты автоматизации проектирования операций механической обработки в многономенклатурном производстве [Текст] / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Инновационная деятельность. – 2013. – № 4 (27). – С. 36-40.
5. Митин, С.Г. Формирование методического обеспечения автоматизированной подсистемы проектирования операций фрезерной обработки [Текст] / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарев // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2012. – N 1(07). – С. 32-39.
6. Солонин, И.С. Расчет сборочных и технологических размерных цепей / И.С. Солонин, С.И. Солонин. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.
7. Мухомолов, А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей [Текст] / А. В. Мухомолов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т.15, №3. – С. 48-55.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

*Пешкова А.В.*

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

*Шарапов А.И.*

доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, доцент,  
Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

*Бронникова А.С.*

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

*Трифорова А.Ю.*

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

В статье описывается способ повышения эффективности использования технологического тепла компрессорных установок, для нужд отопления и ГВС. Определены тре-

буемые расходы тепловой энергии на отопление и вентиляцию машинного зала компрессорной станции. Определены параметры теплоносителя, подаваемого на отопительные приборы, объёмы утилизируемого тепла сжатого воздуха. Подобрано оборудование для утилизации тепла сжатого воздуха. Оценён экономический эффект проведённого мероприятия.

*Ключевые слова:* компрессорная установка, тепловая энергия, энергоэффективность.

На сегодняшний день в России остро стоит вопрос об экономии не только первичных, но и вторичных или внутренних энергетических ресурсов страны. Задача максимального использования вторичных или внутренних энергоресурсов (ВЭР) имеет не только экономическое, но и социальное значение, поскольку снижение расходов топлива, обеспечиваемое использованием ВЭР, уменьшает вредные выбросы и снижает загрязнение окружающей среды. Пределом идеальной организации производств является создание безотходной по материалам и энергии технологии.

Мощность эксплуатируемого в нашей стране электропривода только стационарных компрессоров составляет около 10 % всей вырабатываемой электроэнергии. Поэтому совершенствование и правильная эксплуатация компрессорных машин имеют большое народнохозяйственное значение [2]. Наибольшее распространение получили компрессоры общего назначения, которые производят сжатый воздух, применяемый в промышленности в качестве энергоносителя. Сжатый воздух обладает значительным потенциалом не используемой тепловой энергии. С целью экономии денежных средств и улучшения экологической обстановки в статье предлагается рассмотреть способы утилизации технологического тепла сжатого воздуха от компрессорных установок на нужды предприятия. Исследования выполнены на основе данных компрессорной станции ПАО «НЛМК». В машинном зале размещены 8 компрессорных агрегатов марки К-1500, с 3 ступенями сжатия, из которых постоянно находятся в работе только 2 компрессорных агрегата, оставшиеся 6 агрегатов – в резерве. Каждый агрегат оборудован системами промежуточного и конечного воздухоохлаждения, что обеспечивает надёжную и бесперебойную работу оборудования. На рисунке представлена существующая схема системы охлаждения компрессорных агрегатов. Охлаждение происходит за счет передачи тепловой энергии потоку жидкости с дальнейшим её охлаждением в сухой вентиляторной градирне. Очевидно, что вся тепловая энергия, полученная в процессе сжатия, никак не используется, что нецелесообразно, в условиях современного развития технологий.

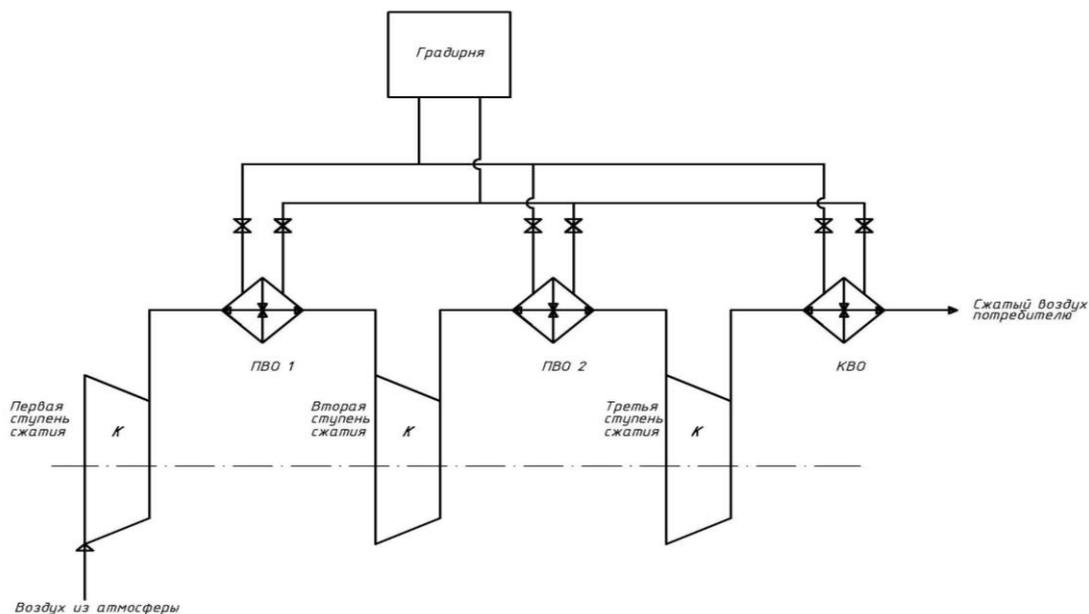


Рис. Схема работы системы охлаждения

Анализ существующей схемы показал, что потенциальный объем утилизируемого тепла сжатого воздуха 31,758 кг/с, а обеспечиваемая им температура смеси на выходе – 28 °С. Поскольку воду с температурой 28 °С невозможно использовать в системах отопления и вентиляции для нагрева приточного воздуха в холодный период, было принято решение рассмотреть схему с температурой охлаждающей воды на выходе из промежуточных воздухоохладителей равной 80 °С (что соответствует минимальной температуре греющей воды в системах воздушного отопления). Это привело к уменьшению расхода охлаждающей воды через ступени промежуточных воздухоохладителей.

В связи с изменением расхода охлаждающей воды, был произведен подбор теплообменного оборудования. Для обеспечения бесперебойной работы системы в условиях тёплого периода года, предполагается установить новые теплообменники параллельно с существующими и обеспечить систему переключения системы с летнего режима на зимний.

В качестве охладителя принимается одноходовой кожухотрубчатый теплообменный аппарат. В трубах движется газ, в межтрубном пространстве – вода. Принимаем противоточное движение теплоносителей. Требуемая поверхность теплообмена – 1415 м<sup>2</sup>.

Также производилось совершенствование двух основных систем: отопления и вентиляции машинного зала объёмом 129600 м<sup>3</sup>. Для этого был произведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций и составлены тепловые балансы, которые показали, что суммарные тепловые потери в помещении равняются 538,561 кВт. Тепловыделения от компрессорных агрегатов, согласно паспортным данным, принимаются 200кВт – 1 % номинальной мощности их приводов.

Таким образом, тепловыделения от компрессорных агрегатов компенсируют только 37% тепловых потерь помещения машинного зала, оставшуюся

ся часть в размере 338,561 кВт должна восполнить система отопления. Для системы воздушного отопления используются 4 агрегата марки СТД-300П с теплопроизводительностью 84,64 кВт и температурой подаваемого воздуха 27 °С. Методика подбора отопительных агрегатов приведена в [1]. Воздух для отопления помещения нагревается до такой температуры, чтобы в результате его смешения с внутренним воздухом и теплообмена с поверхностью ограждений поддерживалась заданная температура помещения.

В результате проведения ряда расчетов определено, что при работе компрессорных агрегатов выделяется достаточно большое количество тепловой энергии, однако потенциала данной энергии не хватает для дальнейшего её использования в различных системах производства. Таким образом, необходимо провести ряд мероприятий по повышению теплового потенциала данного вида энергии, а именно, установить дополнительные секции теплообменных аппаратов, что позволит увеличить температуру теплоносителя на выходе, за счет уменьшения его количества. Стоит отметить, что модернизация технического процесса не влияет на работу самих компрессорных агрегатов, т.к. при эксплуатации новых теплообменных аппаратов температура сжатого воздуха на входе и выходе из ступеней охлаждения остаётся неизменной, а меняются лишь параметры охладителя.

Таким образом, проведение данных мероприятий приведёт не только к экономии денежных средств и модернизации технологического процесса, но и к снижению числа выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Капитальные затраты на устанавливаемое оборудование окупятся через 5 месяцев. Следовательно, проект является экономически эффективным.

#### **Список литературы**

1. Богословский, В. Н. Внутренние санитарно-технические устройства : В 3 ч. Ч: Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканави ; под ред. И. Г. Старовой. М. : Стройиздат, 1990. – 344 с.
2. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Т.1: Теория и расчет. – М.: Колос С, 2006. – 400 с.

## **ПРОБЛЕМА ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНОГО ШЛАМА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ**

*Соколова О.В.*

студентка кафедры безопасности производства и промышленной экологии,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный техниче-  
ский университет», Россия, г. Уфа

В данной статье предлагается решение проблемы экологической безопасности нефтедобывающих предприятий. Проведенный анализ существующих технологий выявил, что наиболее приемлемой является переработка нефтешламов с целью отделения нефтепродуктов, воды и механических примесей. Разработан способ переработки нефтяного шлама, который обеспечит безотходность данного процесса и позволит повысить уровень экологической безопасности нефтедобычи.

*Ключевые слова:* нефтешлам, утилизация, переработка, трехфазная центрифуга, безотходность, эффективность.

В настоящее время актуальной проблемой нефтедобычи является образование, переработка и утилизация нефтяных шламов. Наличие переполненных нефтешламовых амбаров требует существенных затрат для уменьшения экологического ущерба и является фактором, сдерживающим добычу нефти.

Оценка экологического ущерба показывает, что существует острая необходимость внедрения технологий, позволяющих обеспечить безотходность функционирования месторождения.

Плата за загрязнение среды обитания, размещения отходов, величина экологического ущерба зачастую достигает сотни миллионов рублей. Существует острая необходимость внедрения технологий, позволяющих обеспечить безотходность функционирования месторождения. Одно из приоритетных направлений решения этой проблемы состоит в утилизации нефтесодержащих отходов, в частности нефтешламов [3, с. 74-77].

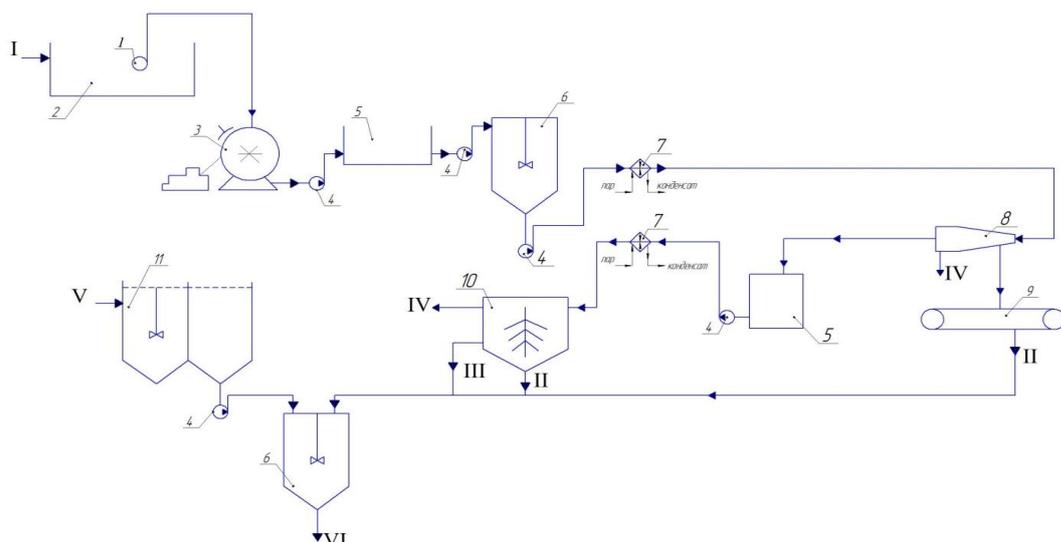
Нефтешламы представляют собой тяжелые нефтяные остатки, из-за значительного содержания нефтепродуктов их относят к вторичным материальным ресурсам. Использование шламов в качестве сырья является одним из рациональных способов утилизации, позволяющим достичь существенного экологического и экономического эффекта.

Целью работы является разработка технологии переработки нефтешламов с целью возврата полученных продуктов и обезвреживания отходов.

В качестве наиболее эффективного метода переработки и утилизации нефтешламов является химический метод, основанный на диспергировании гидрофобными реагентами и получении товарного продукта переработки.

Сущность метода химического капсулирования заключается в химико-механическом преобразовании нефтесодержащих отходов в порошкообразный нейтральный для внешней среды материал, каждая частица которого покрыта гидрофобной, водонепроницаемой оболочкой. Углеводороды, содержащиеся в герметичной капсуле, не могут загрязнять окружающую среду. В течение времени прочность оболочки капсулы повышается благодаря продолжающейся карбонизации поверхности. Капсулированный материал выдерживает объемное давление до 5,0 МПа без заметного разрушения, многократное циклическое замораживание, воздействие слабокислой среды.

На рисунке приведена принципиальная технологическая схема процесса переработки и утилизации нефтяного шлама. Данный способ позволяет отделить нефть, воду и механические примеси.



*I – нефтешлам, II- механические примеси, III – вода, IV – нефть,  
V – негашеная известь, VI – продукт переработки нефтешлама*

Рис. Принципиальная технологическая схема процесса переработки нефтешлама:

1 – устройство забора, 2 – шламонакопитель, 3 – сито-решётка, 4 – насосы, 5 – резервуары, 6 – мешалки, 7 – теплообменники, 8- центрифуга, 9 – транспортер, 10 – сепаратор, 11 – блок подачи реагента

В соответствии с предложенной схемой нефтешлам из шламонакопителя 2 после узла извлечения и подачи, включающего устройство забора 1, сито-решётку 3, насос 4, резервуар 5, мешалку 6, подается в узел обезвоживания насосом 4. После подогрева в теплообменнике 7 происходит разделение шлама в трехфазной центрифуге 8 на нефть требуемого качества, воду и шламовый осадок, отводимый транспортером 9. Вода с остатками нефти, подаваемая насосом 4, после подогрева в теплообменник 7 поступает в сепаратор 10, где очищается от нефти до требуемой чистоты. Твердые примеси и вода направляются в мешалку 6 для химической переработки нефтешлама.

Такая установка обеспечивает разделение шлама следующего состава: нефтяная часть – 15...70%, водная часть – 25...70%, механические примеси – 20%.

Извлекают нефть следующего качества: нефтяная часть – 92...95%, водная часть – менее 3%, механические примеси – менее 3%. Отделившаяся водная фаза содержит 0,05...0,1% нефтепродуктов и менее 2% механических примесей. Отделившаяся твердая фаза содержит воды не более 40% и нефтепродуктов не более 10% [1, с. 224].

Использование данного химического метода переработки нефтесодержащих отходов обусловлено рядом преимуществ. Во-первых, представленный процесс утилизации нефтешлама обладает высокой эффективностью переработки отходов в продукт вторичного использования. Во-вторых, данный способ переработки позволяет экономически выгодно утилизировать большие объемы нефтесодержащих отходов.

Благодаря свойству оксидов минеральных сорбентов (негашеная известь – CaO, магнезия – MgO и хрома – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) при гашении увеличивать

удельную поверхность в несколько раз удастся получить вещество с высокой абсорбционной способностью для углеводородов нефти.

Гашение сопровождается выделением значительного количества тепла, вследствие чего наблюдается резкое увеличение удельной поверхности. Смачивание смеси приводит к мгновенному устранению адсорбционной способности гашеной извести [2].

Для придания гидрофобизирующих свойств в процессе гашения вводят специальные вещества – модификаторы (триглицерид), образуемые с поверхностью сорбента прочную химическую связь. Добавление модификационных реагентов позволяет активировать процесс гидрофобного взаимодействия с углеводородами нефти.

Таким образом, сущность химического способа обезвреживания нефтяных шламов заключается в том, что шламы обрабатываются негашеной известью с добавкой модификатора путем перемешивания. При этом оксид щелочно-земельного металла образует с водой гидроксид, в результате чего нефтепродукты равномерно им адсорбируются с получением сухого, стойкого при хранении порошкообразного вещества, состоящего из мельчайших гранул, представляющих по химическому составу частицы обезвреженных отходов, заключенные в известковые капсулы.

Полученный продукт утилизации соответствует ГОСТу 16557-78 "Минеральная добавка в асфальтобетон" и относится к IV классу опасности.

Разработанная технология переработки нефтяного шлама, с одной стороны, позволяет снизить негативное влияние нефтепромысла на окружающую среду, с другой стороны, увеличивает прибыль предприятия за счет снижения платы за загрязнение и реализации продуктов переработки шлама.

#### Список литературы

1. Охрана окружающей среды от нефтяных загрязнений: учебное пособие для высших учебных заведений / [Б.А. Никитин и др.]; под ред. В.В. Ерофеева, Р.Г. Шарафиева. – Челябинск; Уфа: [б.и.], 2014. – 380 с.
2. Применение препарата «Эконафт» [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru>.
3. Леонтьева, С.В., Закирова, З.В. Повышение экологической безопасности в нефтегазовой отрасли путем разработки способа переработки нефтешлама // Уральский экологический вестник. – 2002. – № 2. – С. 74-77.
4. Нагорнов, С.А., Романцова, С.В., Остриков, В.В. Повышение эффективности утилизации нефтешламов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 1. – С. 31-32.

# СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА СТАРИННОГО ЛАКОМСТВА

*Ткешелашвили М.Е.*

директор НИИ «Прикладных исследований инновационных технологий и качества пищевых продуктов», канд. техн. наук, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия, г. Москва

*Кошелева Н.П.*

ведущий научный сотрудник НИИ «Прикладных исследований инновационных технологий и качества пищевых продуктов», Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия, г. Москва

*Бобожонова Г.А.*

старший научный сотрудник НИИ «Прикладных исследований инновационных технологий и качества пищевых продуктов», канд. техн. наук, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия, г. Москва

Статья посвящена разработке современной технологии массового производства старинного лакомства – «Чурчхелы». По результатам работы предложена технология приготовления «Чурчхелы» с сокращенным сроком сушки и смоделирован состав покрытия «Чурчхелы», обеспечивающий устойчивые микробиологические свойства и увеличенный срок годности продукта, расширен ассортимент восточной сладости благодаря использованию натуральных концентратов различных соков и подбору оптимального соотношения рецептурных ингредиентов.

*Ключевые слова:* чурчхела, восточная сладость, срок годности.

**Введение.** Чурчхела – древнее грузинское национальное лакомство. Отличается высокими питательными свойствами благодаря содержанию глюкозы и фруктозы (от 30 до 52%), растительных жиров, белков, органических кислот (1,1-2%), азотистых и фенольных веществ, витаминов.

«Чурчхела» готовится из грецких орехов или орехов лещины, нанизанных на бечевку или нить, и специальной виноградно-крахмалистой киселеобразной массы – мамалыги. Мамалыга варится из виноградного сока, муки и сахара, в которую в горячем состоянии многократно опускаются орехи на нити, постепенно обрастая клейкой массой. Готовую «Чурчхелу» заворачивают в полотно и оставляют созревать в течение трех месяцев в сухом, хорошо проветриваемом помещении. Созревшая «Чурчхела» должна не утратить мягкости и покрыться легким белым налетом от выступившего на ее поверхность сахара, что является признаком хорошей, правильно приготовленной «Чурчхелы».

Как видно из литературных источников, до сегодняшнего дня изготовление «Чурчхелы» ведется только ручным способом. Никаких аппаратов, машин, приспособлений малой механизации производственного процесса не

предусмотрено. Обеспечить промышленные объемы производства «Чурчхелы», используя описанную технологию невозможно. В современных условиях, при желании производителей пищевых продуктов сотрудничать с сетевыми ритейлерами, необходимо иметь организованное масштабное производство качественного продукта, способного удовлетворить требования логистов, ритейлеров и, конечно, потребителей. На этом фоне понятны стремления производителей повысить качество и пролонгировать срок годности выпускаемой продукции.

**Цель работы** – разработать технологию приготовления «Чурчхелы» с сокращенным сроком сушки при сохранении потребительских свойств, разработать рецептуры и технологию приготовления глазурей (покрытий) для продукта «Чурчхела», обеспечивающих увеличенный срок годности готового продукта.

**Ход исследования.** В производственных условиях готовили образцы «Чурчхелы» с разным содержанием рецептурных компонентов в составе покрытия. Контрольным служил образец, изготовленный по традиционной технологии и рецептуре «Чурчхелы». Объекты исследовали в течение 7 месяцев хранения.

Качество определяли по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям. Использовали предусмотренные ГОСТами, методы испытаний кондитерских изделий: массовую долю сухих веществ устанавливали рефрактометрическим методом согласно ГОСТ 5900-73, выявление и подсчет количества плесневых грибов и дрожжей в соответствии с ГОСТ 10444.12-2013.

Активность воды ( $A_w$ ) находили как отношение парциального давления водяного пара над поверхностью продукта к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре:

$$A_w = \frac{P}{P_o} = \frac{R_h}{100},$$

где  $P$  – давление водяного пара в системе над изделием;  $P_o$  – давление пара над водой;  $R_h$  – равновесная относительная влажность в состоянии равновесия, при которой изделие не поглощает влагу и не отдает влагу в атмосферу, %

$A_w$  измеряли на приборе «АКВАЛАБ». Органолептические показатели определяли по ГОСТ 5897-90.

**Результаты и их обсуждение.** На первом этапе работы создана и описана машинно-аппаратурная схема для производства «Чурчхелы», способная обеспечить стабильность качества продукта и сохранность потребительских свойств восточной сладости от 4-х до 6-ти месяцев при производительности 10000 изделий в сутки. Подобран состав оборудования и его расположение в аппаратурной схеме, обеспечивающее последовательность ведения технологического процесса, сохранность качества полуфабрикатов, минимально возможное образование возвратных отходов на производстве и исключаящее пересечение потоков.

На втором этапе работы проводились эксперименты по замене рецептурных компонентов в составе покрытия образцов «Чурчхелы». На основа-

нии проведенных лабораторных испытаний смоделированы рецептуры покрытия «Чурчхела с белым виноградным соком», «Чурчхела с темным виноградным соком», «Чурчхела с вишневым соком», «Чурчхела с гранатовым соком».

Благодаря смоделированному составу, активность воды в мамалыге снижена до 0,61 ( $A_w$  в мамалыге контрольного образца 0,95). Как известно из литературных источников [1, с. 69], при таких значениях активности воды практически все микробиологические процессы порчи продукта резко замедляются, тем самым обеспечивая устойчивые микробиологические свойства и увеличенный срок годности продукта для расширения логистических возможностей производителя.

Устойчивость пищевых продуктов к микроорганизмам при их хранении зависит от активности воды окружающей среды и пищевого продукта. Микроорганизмы могут расти на продуктах, имеющих значение показателя  $A_w$  между 0,99 и 0,63. Для многих микроорганизмов эти величины определены, они постоянны для каждого вида и не зависят от природы растворенных веществ. По мере уменьшения  $A_w$  среды (начиная с оптимального значения) продолжительность лаг-фазы обычно увеличивается, а скорость роста и количество клеток микроорганизмов уменьшаются. В целом, бактерии развиваются в среде с более высокими значениями  $A_w$  (0,99–0,93), чем дрожжи и плесени. Оптимальные значения  $A_w$  для роста дрожжей также варьируют, но минимальные величины для этих организмов (0,91–0,88) ниже, чем для большинства бактерий [1, с. 69].

При исследовании в процессе хранения проб образцов «Чурчхелы» на наличие плесеней, положительных не выявлено. Все образцы соответствовали нормативному документу по исследуемому параметру на конец срока хранения, в отличие от контрольного, в пробе которого определено содержание плесеней уже на первом месяце хранения и продолжало увеличиваться, выходя за пределы нормы.

Органолептические показатели, приведенные в нормативной документации на кондитерские изделия, можно рассматривать как систему ориентиров, которая позволяет быстро определить требуемые показатели качества «Чурчхель». Для того чтобы оценить ряд значимых сенсорных аспектов и дать объективное заключение о продукте разработаны дескрипторы (табл.), которые позволили графически представить полученные результаты в виде профильной диаграммы.

Контроль сенсорных характеристик образцов «Чурчхелы» с различным видом сока в составе покрытия в период срока хранения показал, что изделия обладали привлекательным внешним видом и высокими вкусовыми достоинствами на протяжении всего эксперимента (рис.). Органолептические исследования свидетельствуют, что вкусовые свойства данных изделий по сравнению с данным показателем контрольного образца сохраняются лучше.

**Список дескрипторов для сенсорной оценки качества «Чурчхелы»**

Наименование показателя/ Дескриптор *(-) – отрицательное направление признака		
Внешний вид	Вкус	Консистенция
Соответствие наименованию цвета сока	Соответствие наименованию сока	Однородная
Сухая поверхность	Гармоничный	Плотная
Блеск	Устойчивый	Жевательный эффект, легкожующаяся
Наличие трещин (-)	Кисло-сладкий	Равномерность покрытия
Липкая поверхность (-)	Мучной привкус (-)	Неоднородная (-)
Матовость (-)	Негармоничное послевкусие (-)	Затяжистость, трудножующаяся (-)
Посторонние включения (-)	Прогорклый (-)	Неравномерность покрытия (-)
Наличие плесени (-)	Приторно-сладкий (-)	Крошлиявая (-)



Рис. Профилограмма сенсорных характеристик образца «Чурчхела с вишневым соком» на последнем месяце хранения

**Выводы.** Таким образом, в ходе проведенных исследований разработана технология приготовления «Чурчхелы» с сокращенным сроком сушки при сохранении потребительских свойств, смоделирован состав покрытия «Чурчхелы», обеспечивающий устойчивые микробиологические свойства и увеличенный срок годности продукта, расширен ассортимент восточных сладостей благодаря использованию натуральных концентратов различных соков и подбору оптимального соотношения рецептурных ингредиентов.

**Список литературы**

1. Колодязная В.С. Пищевая химия: Учеб. пособие. СПб.: СПбГАХПТ, 1999. 140 с.

# КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МАССООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ГАЗОЖИДКОСТНОГО КОНТАКТА

*Фарахов М.М.*

инженер, ООО ИВЦ «Инжехим», Россия, г. Казань

*Липтева Е.А.*

доцент кафедры «промышленная теплоэнергетика и системы тепло-снабжения», канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Россия, г. Казань

В промышленных колонных аппаратах химической технологии наибольшее применение получили различные типы тарелок и насадок. В статье рассматриваются высокоэффективные контактные устройства, разработанные авторами и внедренные в производство, которые получили энергосберегающий эффект.

*Ключевые слова:* тарелка, насадка, контактное устройство, массообмен.

Для проведения процессов разделения различных смесей применяют методы ректификации, абсорбции, экстракции и др. Причем эффективность таких процессов в значительной степени зависит от условий организации процесса и конструкции контактных устройств: барботажных или струйных тарелок, регулярных или хаотичных контактных насадок, вихревых устройств и т.п.

В промышленных колонных аппаратах химической технологии наибольшее применение получили различные типы тарелок и насадок. Выбор типа контактных устройств зависит от условий организации процессов, связанных с расходами фаз, давления в аппарате, требованиям к качеству разделения, теплофизических свойств смесей и ряда других факторов.

Универсальных научно-технических решений практически не бывает и всегда при выборе контактных устройств требуется тщательное технико-экономическое обоснование.

Обычно для колон работающих под давлением ниже атмосферного (вакуумных) используются регулярные насадки с небольшим гидравлическим сопротивлением. Для атмосферных колон и колон работающих под давлением барботажные тарелки и нерегулярные насадки. При очистке больших объемов газовых выбросов – вихревые аппараты.

При выборе контактных устройств или конструировании новых необходимо учитывать, что при увеличении размеров колонн эффективность процессов начинает снижаться, что получило название «масштабного эффекта». В аппаратах большего диаметра (>2-3 м) усиливаются гидродинамические неоднородности, появляются застойные зоны и байпасные потоки. В ряде случаев «масштабные эффекты» могут снизить коэффициент полезного действия контактных устройств в 2-3 раза и более по сравнению с аппаратами небольшого размера [1-3].

При создании насадок новых типов ставятся следующие цели: во-первых, увеличение эффективности массообменного процесса, во-вторых, расширение интервала устойчивой работы аппарата (как по нижнему, так и по верхнему пределам).

Широко используются, насадочные элементы как зарубежных, так и отечественных фирм, например, нерегулярные насадки НУ-ПАК, CASCADE-RINGS, «Инжехим», ГИПХ, ГИАП и регулярные – INTALOX, Sulzer, Koch, «Инжехим», Norton, «Меллапак», «Вакупак», «Кедр» и др. [4, 5].

Обилие известных конструкций насадок, различия в характере их укладки и широкий диапазон материалов, из которых они могут изготавливаться, обуславливают необходимость классификации насадочных контактных устройств.

При разработке конструкций регулярных и нерегулярных насадочных элементов авторами учитывались и анализировались реальные физические процессы, происходящие при массообмене. Так, например, известно, что при ректификации большинства смесей сопротивление массопередаче от 60 до 90% сосредотачивается в паровой фазе. Отсюда напрашивается вывод об организации интенсивной турбулизации паровой фазы за счет различных конструктивных решений по форме насадки. Эти выводы справедливы и для абсорбции легко растворимых газов. Если основное сопротивление массопередаче сосредоточено в жидкой фазе, то необходима организация волнового и даже турбулентного пленочного течения по элементам насадки.

Одним из способов интенсификации массоотдачи в жидкой фазе является создание шероховатой поверхности контактных устройств. Установлено, что если высота выступов небольшая, т. е. они утоплены в вязком подслое, то коэффициент массоотдачи меньше на 10–15 %, чем для гладких поверхностей. Если высота выступов приблизительно равна толщине вязкого подслоя, то коэффициент массоотдачи сравним с коэффициентом массоотдачи для гладкой поверхности. Для увеличения интенсивности массоотдачи по сравнению с гладкой поверхностью необходимо, чтобы высота выступов была в 5-10 раз больше толщины вязкого подслоя, т. е.  $h=(5 \div 10) \delta_1$ .

С учетом выше изложенных фактов авторами разработан элемент насыпной насадки для массообменных аппаратов, выполненной в виде полового тела вращения, поверхность которого образована расположенными одна против другой выгнутыми наружу полосами листового материала с смежными полосами и ребрами вдоль тела вращения. Элемент отличается тем, что одна против другой выгнутые наружу полосы листового материала выполнены параллельными и профилированными и смещены относительно друг друга на ширину полосы, а ребра выполнены закругленными (рис. 1) [6]. Элемент может изготавливаться с шероховатой поверхностью.

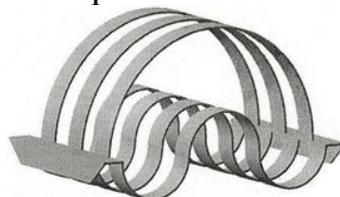


Рис. 1. Вид элемента

Удельная поверхность новой насадки от 100 до 600 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Свободный объем ~ 90%. Так же авторами разработана [7] регулярная насадка «Инжехим» (РГН) (рис. 2). Насадка выполнена из гофрированных металлических сетчатых лент толщиной 0,1 мм, гофры которых расположены под углом в 60° к горизонту. Ленты скручиваются в рулон таким образом, что смежные поверхности гофров располагаются перекрестно. Жидкость в виде пленки, отдельных струй и капель стекает вниз по поверхности насадки, а газ (пар) движется снизу вверх через криволинейные каналы. При прохождении через один элемент насадки газ меняет свое направление на 120° за счет изгиба в средней части каждого гофра.

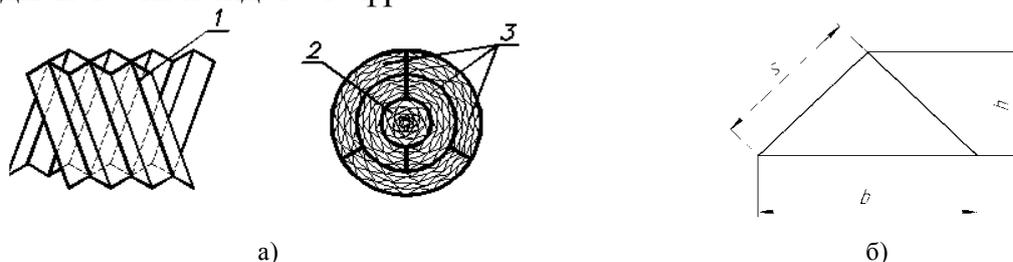


Рис. 2. а) Регулярная рулонная гофрированная насадка «Инжехим»; 1 – гофры смежных листов, 2 – центральный пакет, 3 – остальные пакеты, б) основные геометрические размеры гофра насадки

На тарелках теплообменных аппаратов промышленных размеров вследствие гидравлического сопротивления при горизонтальном течении жидкости в сторону сливной планки уровень жидкости на стороне входа повышается на некоторую величину  $\Delta$  (рис. 3), называемую *гидравлическим уклоном* или *градиентом*. Возникновение градиента уровня жидкости ведет к неравномерному распределению газа по площади тарелки. Большая часть газа движется через часть тарелки, прилегающую к переливному порогу, где уровень жидкости ниже. Это явление становится особенно заметным на тарелках больших диаметров, когда  $\Delta$  может достигать значительной величины.

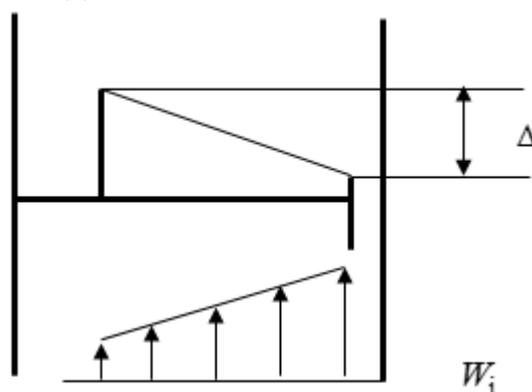


Рис. 3. Виды неравномерностей [1]

Учет влияния некоторых факторов «масштабного эффекта» к расчетам теплообменных колонных аппаратов химической технологии, таких как градиент уровня жидкости  $\Delta$  и скорости газа (пара)  $W_i$  в сечении входа на контактное устройство (рис. 3) осуществляется с использованием математической модели [2].

Для описания распределения жидкой и газовой (паровой) фаз по полотну тарелки с учетом отмеченных неравномерностей используется секционная математическая модель. Число секций (ячеек) принято равным числу рядов контактных элементов, (например, клапанов) расположенных на полотне тарелки от приемной планки к сливной.

С использованием рассмотренного подхода, с учетом неравномерного распределения фаз, разработана конструкция новой структурированной контактной газожидкостной тарелки (СКГ) [8].

Полотно тарелки СКГ разделено на 3 условные секции (рис.4). Каждая секция имеет различное относительное свободное сечение тарелки, уменьшающееся по направлению движения жидкости по тарелке, что компенсирует влияние градиента уровня жидкости. Это способствует равномерному распределению потока жидкости по полотну тарелки, устранению застойных зон вблизи приемной планки и вызывает интенсификацию процессов тепло- и массообмена. Кроме того, предложено выполнить контактные элементы в виде трапециевидных пластин, которые сужаются в направлении к сливной планке. Задняя часть пластины элемента со стороны приемного кармана выполнена прямоугольной формы, плотно соединена с полотном тарелки и составляет острый угол. Это, в свою очередь, увеличивает время контакта фаз и повышает эффективность процессов тепло- и массообмена. При этом выполнение прямоугольной части элемента более широкой, чем максимальная ширина сужающейся части приводит к повышению скорости прямотока и, следовательно, производительности [8].

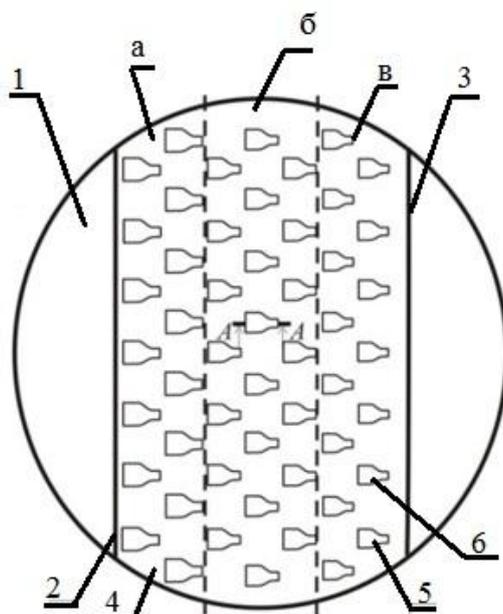


Рис. 4. Общий вид структурированной контактной газожидкостной тарелки (СКГ):  
а, б, в – условные секции контактного устройства; 1 – приемный карман;  
2 – приемная планка; 3 – сливная планка; 4 – основание тарелки; 5 – отверстие тарелки;  
6 – контактный элемент

Проведено сравнение эффективностей стандартных ситчатой и клапанной тарелок, а также новой тарелки СКГ с переменным свободным сечением отверстий. На рис. 5 приведены зависимости КПД тарелки по Мерфри от

скорости газа для рассматриваемых контактных устройств, с учетом влияния неравномерностей, связанных с градиентом уровня жидкости.

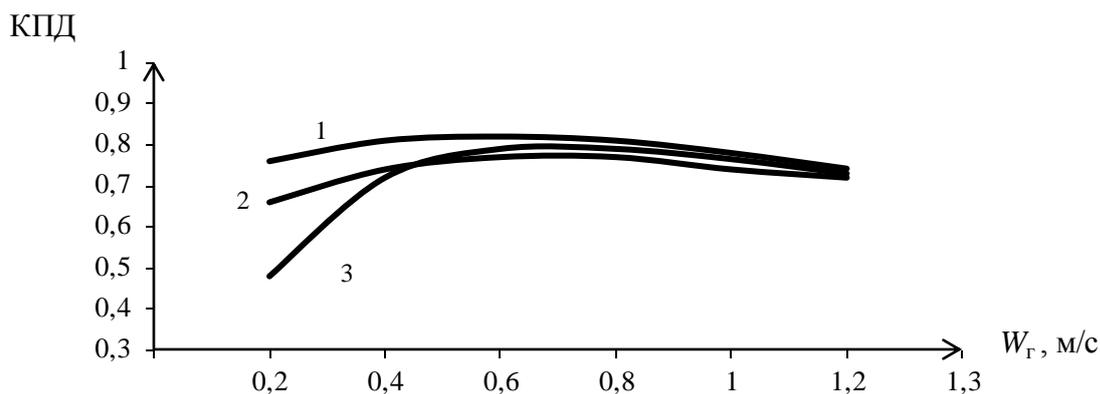


Рис. 5. Зависимость КПД тарелки по Мерффи от скорости газа,  $\Delta = 10$  мм:  
1 – тарелка СКГ; 2 – ситчатая тарелка; 3 – клапанная тарелка

Значения КПД тарелки по Мерффи, полученные для стандартных тарелок рассчитываются по выражениям, полученным в [9-11] в результате обобщения большого количества экспериментальных данных. Значения, полученные для тарелки СКГ – расчетные.

КПД тарелки по Мерффи при величине градиента уровня жидкости  $\Delta = 10$  мм, тарелки СКГ выше в среднем: стандартных клапанной на ~9% и ситчатой на ~7%, а при малых скоростях газа на 20-40%.

Таким образом, конструкция тарелки СКГ за счет своих отличительных особенностей обеспечивает решение поставленной технической задачи – повышение эффективности контакта фаз и интенсификации процессов тепло- и массообмена [3, 9, 10].

### Выводы:

Разработанные насадки и тарелки внедрены на промышленных предприятиях АО «Татнефть», АО «Нижекамскшина» и АО «Казаньоргсинтез», АО «ТАНЕКО». Все внедренные контактные устройства характеризуются повышением качества продукции и снижением энергозатрат на единицу выпускаемой продукции.

### Список литературы

1. Розен А.М., Мартюшин Е.И., Олевский В.М. и др. Масштабный переход в химической технологии: разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования; подред. А.М. Розена. – М.: Химия, 1980. – 320 с.
2. Дьяконов С.Г., Елизаров В.И., Лаптев А.Г. Моделирование массотеплопереноса в промышленных аппаратах на основе исследования лабораторного макета // Теоретические основы химической технологии, 1993. – Т. 27, № 1. – С. 4-18.
3. Башаров М.М., Лаптева Е.А. Модернизация промышленных установок разделения смесей в нефтегазохимическом комплексе; под ред. Лаптева А.Г. – Казань: Отечество, 2013. – 297 с.
4. Каган А.М., Лаптев А.Г., Пушнов А.С., Фарахов М.И. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов – Казань: Отечество, 2013. 454 с.
5. Сокол Б.А., Чернышев А.К., Баранов Д.А. Насадки массообменных колонн – М.: «Галилея-принт», 2009. 358 с.

6. Патент 102200 Россия, МПК В01J 19/30 Элемент насыпной насадки для массообменных аппаратов/ Асибаков Л.И., Бурмисторов Д.А., Кузнецов В.А., Фарахов М.М., Шигапов И.М., Шигапов И.М. – №2010135271/05, заявл. 23.08.2012, опубл. 20.02.2011.
7. Патент 113175 Россия, МПК В01J 19/30 Элемент насадки для массообменных аппаратов (варианты)/ Ахметзянов Н.М., Ахметзянов Н.Н., Бурмисторов Д.А., Фарахов М.М.-№ 2011100339/05, заявл. 11.01.2011, опубл. 10.02.2012.
8. Патент 116064 Россия, МПК В01D 3/18 Структурированная контактная газожидкостная тарелка/ Лаптев А.Г., Крылова А.Н., Фарахов М.М. -№2011151350/05; заявл. 15.12.2011, опубл. 20.05.2012.
9. Лаптев А.Г., Башаров М.М. Эффективность теплообмена и разделения гетерогенных сред в аппаратах нефтегазохимического комплекса. Монография. – Казань: Центр инновационных технологий, 2016. – 344 с.
10. Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Минеев Н.Г. Основы расчета и модернизация теплообменных установок в нефтехимии. Монография. – Казань: СТРАТА, 2015. – 574 с.
11. Лаптева Е.А., Лаптев А.Г. Прикладные аспекты явлений переноса в аппаратах химической технологии и теплоэнергетики (гидромеханика и теплообмен).- Казань: Издательство «Печать-Сервис XXI век», 2015. 236 с.

## **АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ ERP С ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ PLM И MES ПРИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИИ IT ПРОДУКТОВ**

*Хисамутдинов М.Р.*

аспирант, Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Россия, г. Набережные Челны

*Хисамутдинов Р.М.*

кандидат технических наук, доцент,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Россия, г. Набережные Челны

Разработка отечественных интеграционных решений – одна из важнейших задач импортозамещения в сфере ИТ. Разрабатываемый модуль на основе интеллектуальных агентов и использовании базы знаний с учетом накопленного опыта и правил, обеспечит динамичное внедрение интеграции на предприятии. В результате, благодаря исключению человеческого фактора, исключению ручного труда и повышение эффективности принимаемых решений, произойдет минимизация ошибок.

*Ключевые слова:* информационные системы, интеграция, эффективность.

На сегодняшний день в России используется большое количество автоматизированных информационных систем, внедренных на предприятиях, которые обычно решают отдельные группы задач, связанные с производством, финансами, логистикой и т.д. Эти информационные системы обычно не объединены в рамках корпоративной информационной системы. Так как в них отсутствует поддержка интеграции разноплатформенных информационных систем, отсутствует единый стандарт интеграции, нет заинтересованно-

сти разработчиков информационных систем в интеграции, как правило, закрытое программное обеспечение. В связи с этим предприятия сталкиваются с определенными издержками, связанными с неэффективным использованием ИТ персонала, имеет место быть высокий уровень скрытых потерь, множество ошибок в системе из-за использования ручного подсчета и ввода данных.

Основными запросами, с которыми сталкиваются машиностроители во всем мире, являются увеличение конкуренции с одной стороны и повышение индивидуальных требований различных групп потребителей с другой стороны. Эти вызовы требуют от машиностроителей непрерывной работы над повышением эффективности собственного производства.

Построение автоматизированного интеграционного модуля разноплатформенных информационных систем является актуальной проблемой, так как создание единого информационного пространства позволяет предприятию полностью автоматизировать управление бизнес процессами и производством в условиях действующих информационных систем, тем самым избавляя от лоскутной автоматизации и повышая экономическую эффективность предприятия в целом.

В рамках программы импортозамещения требуется разработка отечественной системы интеграции разноплатформенных систем. Реализация интеграционного модуля разноплатформенных информационных систем предполагает переход от классической стратегии построения единого информационного пространства к более совершенной, что подразумевает избавление от параллельного функционирования информационных систем, которая требует больших вычислительных ресурсов и персонала, а это существенные расходы в долгосрочной перспективе. Большую роль в интеграции составляет грамотное сопоставление соответствующих атрибутов между информационными системами для обмена генерируемыми данными.

В настоящее время интеграцией разноплатформенных автоматизированных информационных систем заинтересованы многие современные предприятия, которые используют различные уровни информационных систем таких, как ERP, PLM, MES, CRM, SCM, HRM и т.д. Задачей интеграции является консолидирование всех уровней управления предприятием в единую цепочку. Данные уровни могут использоваться в совокупности в зависимости от поставленных целей, задач и условий предприятий. Был проведен сравнительный анализ информационных систем, с точки зрения использования интеграционных решений, технологий и стандартов (таблица). В качестве анализируемых систем были выбраны различные информационные системы: ERP-системы SAP Business Suite, ORACLE JD Edwards EnterpriseOne, 1C предприятие, Microsoft Dynamics NAV, Epicor, MES-системы Proficy Plant Applications, Pharis, СПРУТ-ОКП и PLM-система TeamCenter.

ERP-системы большей частью охватывают все ключевые процессы деятельности предприятия.



Рис. 1. Основные компоненты ERP решения

В основном в ERP системе представлены следующие модули:

- MRP (англ. Material Requirements Planning, планирование потребности в материалах) – система планирования потребностей в материалах, одна из наиболее популярных в мире логистических концепций, на основе которой разработано и функционирует большое число микрологистических систем;

- MPS (англ. Master Production Scheduling, мастер планирования производства) -планирует производство на основании прогнозов;

- SCM (англ. supply chain management, управление цепочками поставок ) – управленческая концепция и организационная стратегия, заключающаяся в интегрированном подходе к планированию и управлению всем потоком информации о сырье, материалах, продуктах, услугах. Данный модуль отвечает за взаимоотношения с поставщиками (закупка, поставки, управление материальными потоками, инвентаризация, и т.д.);

- CRM (Customer Relationship Management, англ. система управления взаимоотношениями с клиентами) – предназначается для автоматизации стратегий взаимодействия с заказчиками (клиентами), в частности, для повышения уровня продаж, оптимизации маркетинга и улучшения обслуживания клиентов путём сохранения информации о клиентах и истории взаимоотношений с ними, установления и улучшения бизнес-процессов и последующего анализа результатов.

На рис. 2 представлены бизнес потоки современного предприятия, данные процессы должны охватываться ERP системой.

Успешно внедренная ERP система позволяет:

- Автоматизировать бизнес-процессы;
- Сократить штат;
- Улучшить качество планирования;
- Снизить запасы;
- Увеличить скорость потока и оборачиваемость;
- Производить точно в срок;
- Повысить качество расчета себестоимости продукта.



Рис. 2. Бизнес-процессы современного предприятия

Любое машиностроительное предприятие вынуждено использовать в своей деятельности целый ряд различных информационных систем (ИТ систем). Наиболее эффективным способом их совместного использования является создание специализированных интерфейсов между различными ИТ системами. В этом случае обмен данными между ними происходит автоматически, без непосредственного участия человека. Т.к. MES обеспечивает непосредственный контакт всех информационных систем предприятия с персоналом и оборудованием в производственной зоне, то кроме всего прочего на этот класс систем возлагают роль транспортного информационного канала между уровнем управления ресурсами предприятия, разработки конструкции, технологии продукции и уровнем производства (рис. 3).



Рис. 3. Сферы управления предприятия

При создании единого информационного пространства, предприятие сталкивается с проблемой интеграции информационных систем (ИС), так как ИС от разных разработчиков в большинстве случаев имеют различный интерфейс преобразования информационных потоков данных.

Для связи ИС используется интегратор. Это соединительный интерфейс, который служит для адаптирования и последующей передачи входных информационных потоков данных с одной ИС на другую.

Объектом исследования является единое информационное пространство на базе ERP, PLM и MES систем. В данной работе мы рассматриваем интеграцию PLM системы Teamcenter (Siemens) с ERP системой SAP R/3 (SAP AG) и MES.

В качестве открытой платформы (рис. 4), она может быть интегрирована с важными для бизнеса системами: ERP, MES, CRM и SCM.

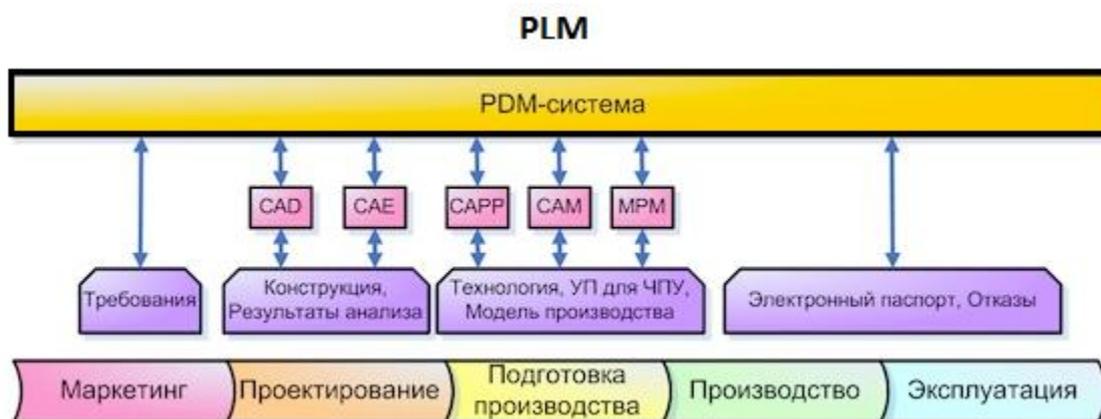


Рис. 4. Состав компонентов PLM и основные этапы

Основными компонентами PLM-системы являются:

- PDM – система (PDM – Product Data Management) – система хранения и управления инженерными данными об изделии, является основой PLM;
- CAD – система (CAD – Computer Aided Design) – проектирование объектов;
- CAE – система (CAE – Computer Aided Engineering) – инженерные расчеты;
- Системы визуализации объектов и данных.

Методология PLM – один из краеугольных камней ИТ-структуры современного промышленного предприятия, наряду с системами планирования производственных ресурсов (ERP), управления цепочками поставок (SCM) и взаимодействия с клиентами (CRM).

В рассмотренных информационных системах используются различные способы передачи информации: стандарт вызова удаленных процедур XML RPC; веб-сервисы CSV, XLS; протокол обмена структурированными сообщениями SOAP; открытая структура данных в СУБД; технология .NET Framework; стандарта семантика RDF. Разработчики информационных систем так же используют системы управления нормативно-справочной информации (MDM-системы) и системы управления документами, неструктурированной информацией и различных типов контента (ECM-системы), которые используются в качестве средств интеграции, позволяющей согласовывать данные различных информационных систем. Обычно данные системы управления не включены в набор продуктов ERP и выступают в качестве дополнительных платных опций.

На основе данных анализа можно сделать вывод, что информационные системы используют единичные технологические решения интеграции дан-

ных (таблица), которые в основном рассчитаны для одноплатформенных информационных систем с идентичной архитектурой.

Таблица

**Сравнительный анализ информационных систем, с точки зрения использования интеграционных решений, технологий, стандартов и вспомогательных сервисов**

Интеграционные решения	ERP-системы					MES-системы			PLM-системы		
	SAP BS	Oracle JD	Dynamics NAV	Epicor	1C	Proficy Plant	Pharis	Спрут	Team Center	Неотлант	T-FLEX
Вызов удаленных процедур XML RPC								+	+	+	+
Веб-сервисы CSV, XLS	+						+				
Поддержка технологии SOAP				+		+					
.NET Framework (CIL)			+	+							
Поддержка стандарта семантика RDF					+						
Поддержка стандарта ISA-95						+	+				
Поддержка стандарта ISO 15926											
Поддержка MDM-систем	+	+	+								+
Поддержка ESM-систем		+	+								
Открытая структура данных в СУБД			+	+	+		+	+	+	+	+

В настоящее время интеграция ERP с PLM является актуальной задачей для многих предприятий. Однако отсутствие интеграции двух систем не позволяет автоматизировать передачу данных из одной ИС в другую. Ручное ве-

дение БД является весьма затратным и приводит к существенным потерям для компании.

В задачах интеграции между ИС в основном акцент делается на обеспечение совместимости данных. При этом требуется создание новых или доработка существующих интерфейсов. Каждый интерфейс имеет множество одинаковых параметров: средства передачи данных, передача и обработка данных в текстовом формате, передача и обработка данных в табличном виде, передача объектов и т.д. (рис. 5).

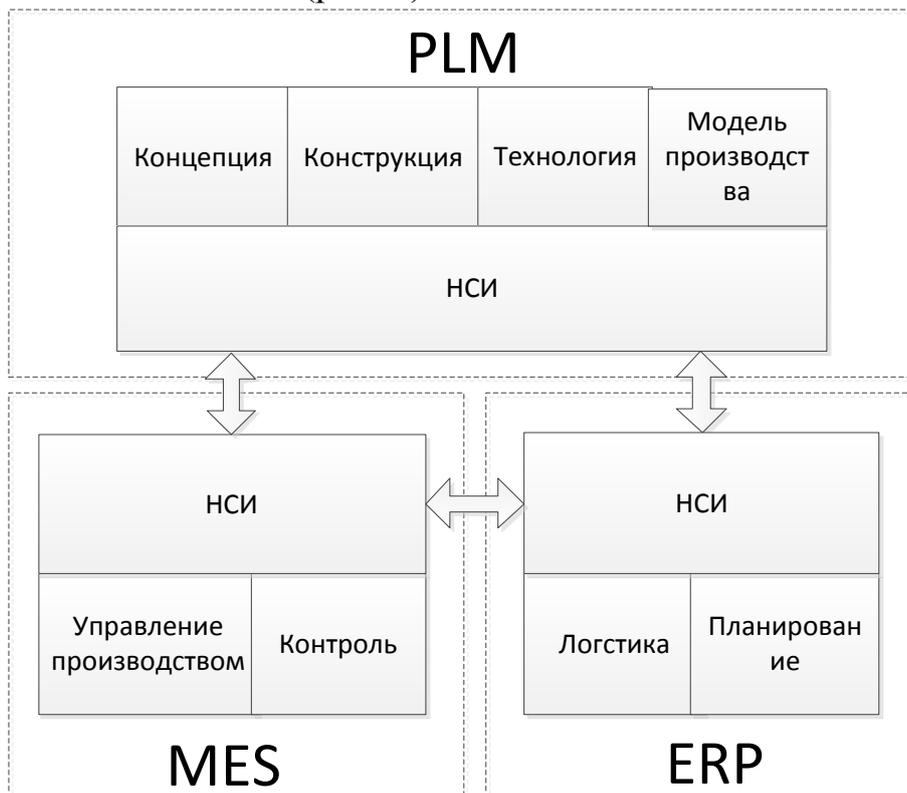


Рис. 5. Объекты интеграции ERP-PLM-MES

Для интеграции данных ИС необходимо создание двунаправленной интеграционной схемы ERP-PLM-MES. Каждая ИС должна содержать процедуры подготовки данных для передачи, обработки принятых данных и т.д. Отсутствие обратной связи с пояснением характера ошибки является недостатком такой схемы. Так же можно отнести к недостаткам отсутствие контроля передачи данных между информационными системами. Поэтому необходимо формирование интегратора с интерфейсом между участниками процессов обмена данными, который будет обрабатывать считывать и непосредственно готовить данные к передаче. Для выполнения таких требований предлагается использовать структуру на основе интеллектуальных агентов, представляющие собой программные модули, управляемые протоколом обмена данными и синхронизации состояний бизнес объектов. Такая же схема применима для интеграции трёх или более ИС. Интегратор должен иметь возможность преобразовывать одну форму представления данных в другую, не теряя информации. При передаче информации из одной информационной системы в другую, процесс будет происходить за счет передачи данных

удобным для передатчика способом, например, это может быть: вызов хранимой процедуры в СУБД; запуск исполнительного файла с параметрами; передача по сети данных; выгрузка интерфейсных таблиц и т.д. [1, с. 41].

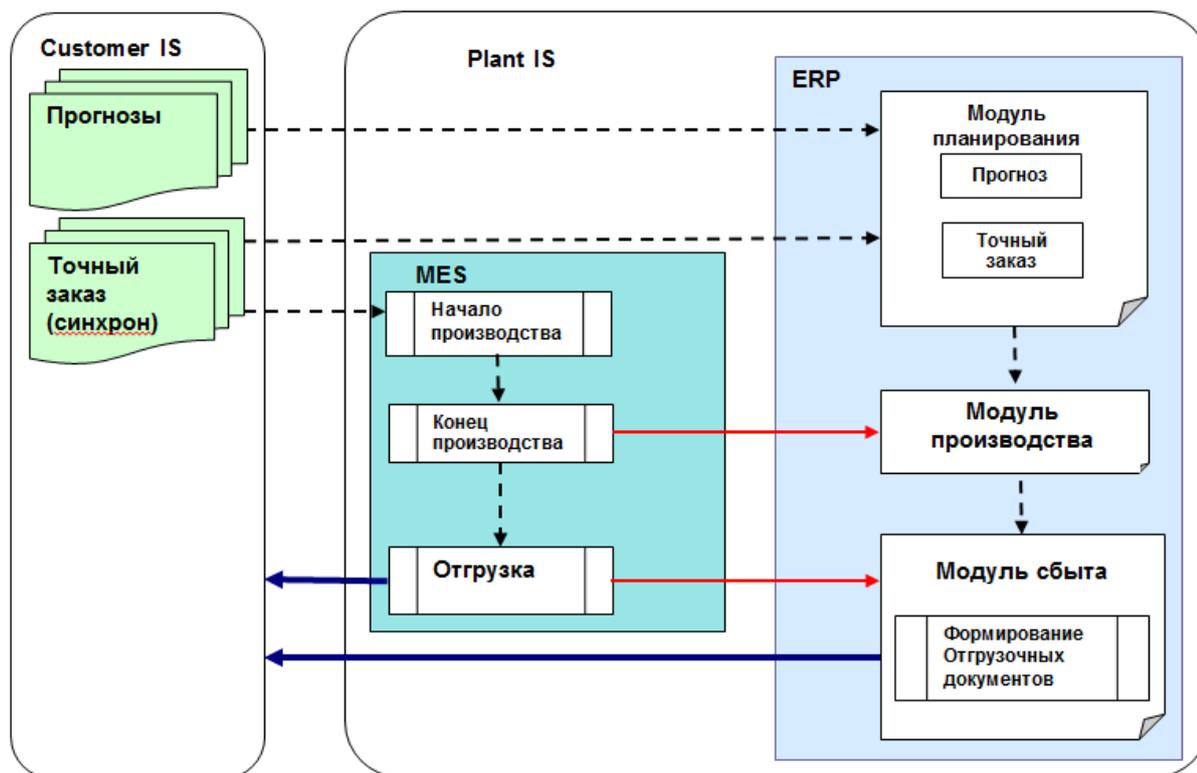


Рис. 6. Движение информационных потоков данных

Анализ результатов первой попытки интеграции PLM и ERP показал возможность автоматического создания и обновления объектов в ERP на основе выгружаемых данных из PLM (рис. 3).

Проведена выгрузка и обновление данных PLM в ERP для следующих объектов:

- Номенклатурный справочник (основные записи материалов – ОЗМ);
- Предписания (основные записи изменений – ОЗИ);
- Технологические составы (AN (узлы входа), SN (узлы структуры), вариант iPPE).

Первая итерация выявила 96 несоответствий при передаче данных на соответствие требованиям ERP. В дальнейшем необходимо провести детальный анализ невыполненных требований и проверить и осуществить процедуру планирования в ERP для загруженных из PLM данных. Требуется дальнейшее изучение процессов для обеспечения полного соответствия передаваемых данных из PLM в ERP.

#### **Выводы:**

1. Реализация интеграционного модуля разноплатформенных информационных систем предполагает переход от классической стратегии построения единого информационного пространства к более совершенной, что подразумевает избавление от параллельного функционирования информационных систем, которая требует больших вычислительных ресурсов и персонала.

2. Для интеграции данных ИС необходимо создание двунаправленной интеграционной схемы.

3. Определены необходимые этапы интеграционных разработок и предложено использовать структуру на основе интеллектуальных агентов, представляющих собой программные модули, управляемые протоколом обмена данными и синхронизацией состояний бизнес объектов. Такая же схема применима для интеграции трёх и более ИС.

#### **Список литературы**

1. Симонова Л.А., Миннахметов И.Р., Ключков Е.Ю. Модель синхронизации и интеграции данных в едином информационном пространстве производства на основе модифицированного алгоритма / КИШП. ОМД. 2012 №4. С. 41-47.

2. Симонова Л.А., Хисамутдинов М.Р. Автоматизированный интеграционный модуль разнаплатформенных систем информационных систем SAP-ERP и TeamCenter-PLM Свидетельство № 201361993 РФ. Заявлено 16.08.2013. Опубликовано 14.10.2013.

3. Khisamutdinov R.M., Khisamutdinov M.R. New technology of production preparation on the basis of models, methods and means of automation of processes of creation and operation of the instrument// Theses of reports of International scientific-practical conference "Education, science and production. New technologies as a tool of strategy of development and modernization 2020. – Kazan, June 19, 2012, Kazan: Publishing house "MSPRESS", 2012. – P. 276.

4. Khisamutdinov R.M., Khisamutdinov M.R. Automation System Goals for the Creation and Operation of the Tool / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering №69. 2014. С. 1-4.

5. Khisamutdinov R.M., Khisamutdinov M.R. Tool Creation and Operation System Development for Large Engineering Enterprises / World Applied Sciences Journal Dubai, 2014. IDOSI Publications. P. 588-591.

6. Khisamutdinov R.M., Khisamutdinov M.R. Tool Creation and Operation System Development / «Наука современности-2015) Москва. 2015. С. 165-170.

7. Khisamutdinov R.M., Khisamutdinov M.R. Задачи автоматизации системы создания и эксплуатации инструмента / Материалы международной научно-практической конференции, г. Казань, 2013. – С. 198-203.

8. Simonova L.A. Khisamutdinov M.R. Scientific Industrial Aspects of Integration Product Lifecycle Management and Enterprise Resource Planning Systems / World Applied Sciences Journal №4 2013. P. 690-693.

9. Simonova L.A. Khisamutdinov M.R. Intellectual Model Control Data of the Module Integration SAP-ERP and Teamcenter-PLM/ World Applied Sciences Journal №8 2013. P. 1258-1262.

## **ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ 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 рассмотрена актуальность проблемы разработки методов, позволяющих обеспечить требуемые уровни показателей защищенности информационных систем ситу-

ационных центров МЧС России с учетом роста их сложности. Приведены формулы, определяющие ряд количественных показателей защищенности.

*Ключевые слова:* система распределенных ситуационных центров, ситуационный центр, информационная безопасность, защищенность, сложная система, показатели защищенности.

В настоящее время в МЧС России функционирует, развивается и совершенствуется система распределенных ситуационных центров (СРСЦ) [1], входящая в общую СРСЦ органов государственной власти Российской Федерации. Одним из ключевых направлений, оказывающих существенное влияние на результативное функционирование СРСЦ, является обеспечение информационной безопасности (ИБ), включающее проведение оценки защищенности и стабильности функционирования системы [5].

Кроме того, в МЧС России в целом, отличающимся высоким уровнем компьютеризации процессов управления на всех уровнях иерархии, проблема защиты информации, являющаяся проблемой комплексной, представляет особую актуальность [1].

В ситуационных центрах (СЦ), являющихся элементами СРСЦ МЧС России развернуто значительное количество информационных систем (ИС), в том числе автоматизированных систем (АС) различного назначения, материальной (технической) основой которых являются распределенные вычислительные сети, объединяющие большое количество средств вычислительной и оргтехники, коммуникационного и сетевого оборудования [1].

Рассматривая ИС СЦ МЧС России как сложные системы, обладающие иерархической структурой выполняющие множество функций, вступающие в разнообразные отношения с внешней средой [2], можно отметить тенденцию повышения их сложности по ряду направлений. Одно из них связано с тем, что, в состав систем 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. Возрастает количество задач, решаемых с помощью ИС, повышается ответственность выполняемых ими функций, а также растет многообразие самих, внедряемых в повседневную и оперативную деятельность СЦ МЧС России, информационных систем. Подобный рост сложности ИС СЦ МЧС России оказывает существенное влияние на обеспечение ИБ.

Определяя безопасность ИС СЦ МЧС России через состояние их защищенности, при котором обеспечивается способность функционирования систем без перехода в опасное состояние (под опасным состоянием будем понимать состояние, связанное с нарушением конфиденциальности, целостности и доступности обрабатываемой в ИС информации), 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.

С методологической стороны вопросы моделирования безопасности имеют определенную общность в плане структурного анализа с моделированием безотказности и отказоустойчивости [4].

Это позволяет при оценке защищенности ИС СЦ МЧС России в качестве одной из основных характеристик защищенности системы принять время ее безопасной работы.

Обозначим это время как случайную величину –  $T$ . Будем считать, что в момент времени  $t = 0$  система начинает работу, а в момент времени  $t = T$  в системе происходит нарушение информационной безопасности (инцидент). Инцидент рассматриваем как результат успешной попытки реализации угрозы информационной безопасности – случайное событие во времени, приводящее к такому состоянию системы, при котором прекращает функционировать ее функция защищенности.

Рассматриваемая случайная величина – время безопасной работы системы  $T$  будет иметь закон распределения, характеризующийся интегральной функцией распределения:

$$F(t) = P(T_k < t),$$

где  $T_k$  представляет собой случайный момент времени, в который в системе произошёл инцидент. Тогда получим, что:

$$Q(t) = F(t)$$

– будет представлять собой вероятность инцидента на интервале времени  $[0, t]$ .

Функцию  $Q(t)$  рассмотрим как вероятность инцидента до момента времени  $t$ . Плотность распределения вероятности инцидента будет равна:

$$f(t) = \frac{dF}{dt} = F'(t) \quad (1)$$

Понятие безопасная работа рассмотрим как событие, являющееся противоположным по отношению к событию инцидента и, исходя из этого, вероятность безопасной работы в течение времени  $t$  рассчитаем как:

$$P(t) = 1 - Q(t) \quad (2)$$

При этом, если  $F(t)$  – дифференцируемая функция (на практике данное условие выполняется практически во всех случаях), то в таком случае дифференциальная плотность инцидента будет равна:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = - \frac{dP(t)}{dt} \quad (3)$$

Такие показатели как вероятность инцидента и вероятность безопасной работы системы в течение времени  $t$  в заданных условиях будет определяться через плотность вероятности инцидента:

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt; P(t) = \int_t^\infty f(t)dt \quad (4)$$

В практических расчетах наиболее часто применяется такая характеристика защищенности как интенсивность инцидентов ИБ –  $\lambda(t)$ .

Интенсивность инцидентов рассмотрим как относительную скорость уменьшения значений функции защищенности с увеличением интервала времени  $(0, t)$ .

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{dP(t)}{P(t)dt} \quad (5)$$

Решение уравнения (5) при начальном условии  $P(0) = 1$  дает для функции защищенности системы формулу:

$$P(t) = \exp\left\{-\int_0^t \lambda(t)dt\right\} \quad (6)$$

При постоянной интенсивности инцидентов ( $\lambda(t) = \text{const}$ ) указанная выше формула (6) приобретает более упрощенный вид:

$$P(t) = \exp\{-\lambda t\} \quad (7)$$

Интенсивность инцидентов  $\lambda(t)$  – будет представлять собой условную плотность их вероятности в предположении, что до момента  $t$  система функционировала безопасно. Таким образом, случайная величина  $T$  будет иметь следующие характеристики:  $P(t), f(t), \lambda(t)$ .

В качестве показателей защищенности применяют также числовые характеристики случайной наработки до инцидента ИБ [3]. Данные характеристики по экспериментальным данным, как правило, определяются значительно проще, чем определенные выше зависимости:  $P(t), \lambda(t), f(t)$ . Из наиболее широко используемых характеристик выделим среднюю наработку системы до инцидента (математическое ожидание наработки до инцидента или первый начальный момент).

$$m_t = M[T] = \int_0^\infty t f(t) dt = \int_0^\infty t \frac{dF(t)}{dt} dt = -\int_0^\infty t \frac{dP(t)}{dt} dt, \quad (8)$$

где  $F(t)$  – функция распределения случайной величины  $T$ .

Проинтегрировав выражение (8) по частям, получим:

$$m_t = \int_0^\infty P(t) dt \quad (9)$$

При постоянной интенсивности инцидентов ( $\lambda(t) = \text{const}$ ) будем иметь:

$$m_t = \int_0^\infty \exp\{-\lambda t\} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (10)$$

Второй центральный момент (среднее квадратичное отклонение) тогда будет равен:

$$\sigma^2 = \int_0^\infty (t - a_1)^2 f(t) dt \quad (11)$$

Очень часто этих двух моментов бывает достаточно для полной характеристики функций распределения наработки до инцидента ИБ. Например, в довольно часто встречающихся случаях на практике, когда  $f(t) = \lambda \exp\{-\lambda t\}$  (экспоненциальное распределение), такие показатели как:

$$P(t) = \exp\{-\lambda t\} \text{ и } m_t = \bar{\tau} = \frac{1}{\lambda}$$

– несут исчерпывающую информацию о защищенности системы [3].

Анализ современных стандартов и нормативно-методических документов отечественных регуляторов в области информационной безопасности [6], показывает, что Руководящие документы Гостехкомиссии (в настоящее время ФСТЭК) России, определяющие критерии для оценки механизмов защиты программно-технического уровня (в том числе показатели защищенности и

совокупности описывающих их требований), используемые при анализе защищенности автоматизированных систем и средств вычислительной техники, не учитывают возрастающую сложность информационных систем, определяемые этими документами уровни защищенности не всегда отвечают современным требованиям, поэтому весьма актуальна проблема разработки методов, позволяющих при оценке защищенности ИС СЦ МЧС России обеспечить требуемые уровни показателей защищенности системы.

#### Список литературы

1. 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. № 2. – 2016. С. 84-90.
2. Иванов А.Ю., Куликов Ю.Н. Методологические основы оценки эффективности автоматизированного управления силами и средствами МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. № 1 (25). – 2013. С. 84-94.
3. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2001.
4. Синещук Ю.И., Пантиховский О.В., Синещук М.Ю. Информационно-логическая модель анализа и обеспечения устойчивости функционирования систем управления сложными организационно-техническими объектами // Проблемы управления рисками в техносфере. № 2 (22). – 2012. С. 6 – 11.
5. Система распределенных ситуационных центров 2014: Резолюция конференции 16-17.10.2014. URL: [http://www.ситцентр.рф/docs/Rezolution\\_SRSC\\_2014.pdf](http://www.ситцентр.рф/docs/Rezolution_SRSC_2014.pdf) (дата обращения: 25.01.2016).
6. Шубин А.Н. Оценка свойств информационных систем в стандартах по информационной безопасности / А.Н. Шубин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, № 3. – 2013.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ГУСТАФСОНА-КЕССЕЛЯ И FCM ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ИННОВАЦИОННЫХ IT-ПРОЕКТОВ

*Чертина Е.В.*

старший преподаватель кафедры «Экономика бизнеса и финансы»,  
Астраханский государственный технический университет,  
Россия, г. Астрахань

В статье рассматривается процесс нечеткой кластеризации инновационных IT-проектов для принятия управленческих решений по отбору наиболее привлекательных к инвестированию проектов. Представлены алгоритмы кластеризации FCM и Густафсона-Кесселя. Приведен расчетный пример по рассмотренным алгоритмам и обобщены результаты исследования.

*Ключевые слова:* нечеткая кластеризация проектов, многокритериальное принятие решений, алгоритм Густафсона-Кесселя.

Для решения задач управления социально-экономическими системами применяются современные методы системного анализа и новые информаци-

онные технологии в обеспечения процесса принятия решений и стратегического управления в условиях неопределенности [1, с. 11].

Так, в задачах управления процессом инвестирования инновационных IT-проектов применение таких технологий сводится, например, к выбору наиболее привлекательных проектов и распределению ресурсов между ними или выбору конкретного проекта из некоторого множества по совокупности критериев.

Для целей нашего исследования рассмотрим следующие такой метод многокритериального принятия решений как нечеткая кластеризация.

Использование математического аппарата данного метода в условиях неопределенности позволяет повысить эффективность принимаемых управленческих решений для решения задачи многокритериального выбора наиболее привлекательных к инвестированию инновационных IT-проектов.

Задача нечеткой кластеризации заключается в определении нечеткого разбиения множества проектов исследуемой совокупности, которые образуют структуру нечетких кластеров, присутствующих в рассматриваемых данных. Данный метод позволяет определить степени принадлежности проектов исследуемой совокупности искомым нечетким кластерам [2, 3].

Задачу нечеткой кластеризации определим кортежем  $\Psi = \langle N, S, K \rangle$   $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_i\}$  – множество проектов кластеризации;  $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_j\}$  – количественные значения признаков для проектов  $n_i \in N$ , используемые для формирования кластеров. Определим следующие признаки для проектов:

$K = \{k_1, k_2, k_3\}$  – количество кластеров. Для целей определения доходности проекта определим следующие кластеры:

$k_1$  – проекты с высокой доходностью  $D > 20\%$  ;

$k_2$  – проекты со средней доходностью  $10 < D \leq 20\%$  ;

$k_3$  – проекты с низкой доходностью  $0 \leq D \leq 10\%$  .

Отметим, что чем меньше доходность, тем меньше уровень финансового риска и наоборот.

Совокупность проектов кластеризации подразделяется на два множества:

- множество проектов, с заверченным жизненным циклом в фонде;
- множество проектов, продолжающие жизненный цикл в фонде.

Выбор ЛПР того или иного множества зависит от целей кластеризации, т.е. прогнозирование результата реализации проекта путем сравнения с историей уже реализованных или находящихся в процессе реализации проектов.

Для осуществления процедуры нечеткой кластеризации рассмотрим два алгоритма: алгоритм нечетких с – средних (FCM) и алгоритм Густафсона-Кесселя, представленные в таблице 1.

## Сравнительная характеристика итерационных алгоритмов

Алгоритм FCM	Алгоритм Густафсона- Кесселя
<p><b>Шаг 1. Начальная инициализация</b></p> <p>1.1. Устанавливаем количество кластеров <math>k</math></p> <p>1.2. Устанавливаем экспоненциальный вес <math>\omega \in [1, \infty)</math>, определяющий нечеткость кластеров</p> <p>1.3. Устанавливаем параметр сходимости <math>\varepsilon = 0,00001</math> (параметр остановки алгоритма)</p>	
<p><b>Шаг 2. Генерация матрицы нечеткого разбиения</b></p> <p><math>\mathfrak{R} = [\mu_{ij}]</math>, <math>\mu_{ij} \in \{0,1\}</math>, <math>i = \overline{1, N}</math>, <math>j = \overline{1, S}</math>, где <math>i</math>- тая строчка содержит степени принадлежности проектов к кластерам <math>k_1, k_2, k_3, k_4</math>, <math>j</math>- соответствует количественному признаку кластеризации.</p>	
<p><b>Шаг 3. Расчет центров кластеров</b></p> $c_k = \frac{\sum_{i=1}^N (\mu_{ij})^\omega \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N (\mu_{ij})^\omega}$ <p><math>N</math> – количество проектов, <math>x_i</math> - <math>i</math>- тый проект кластеризации</p>	
<p><b>Шаг 4. Расчет расстояния между проектами из совокупности <math>N</math> и центрами кластеров</b></p> $D_{ij} = \sqrt{\ x_i - c_k\ ^2}$	<p><b>Шаг 4. Вычисление норм – порождающей матрицы для <math>k</math>- того кластера</b></p> $G_k = \frac{\sum_{i=1}^N (\mu_{ij})^\omega \cdot (x_i - c_k)^T \cdot (x_i - c_k)}{\sum_{i=1}^N (\mu_{ij})^\omega}$
<p><b>Шаг 5. Пересчет элементов матрицы нечеткого разбиения</b></p> <p>если <math>D_{ij} &gt; 0</math>, то <math>\mu_{ij} = \frac{1}{(D_{ij}^2 \sum_{k=1}^K \frac{1}{D_{ik}^2})^{\frac{1}{\omega-1}}}</math>;</p> <p>если <math>D_{ij} = 0</math>, то <math>\mu_{ik} = \begin{cases} 1, k = j \\ 0, k \neq j \end{cases} \quad k = \overline{1, K}</math></p>	<p><b>Шаг 5. Расчет расстояния между проектами из совокупности <math>N</math> и центрами кластеров</b></p> $D_{G_k} = (x_i - c_k) \cdot [(\det(G_k))^{1/N} \cdot G_k^{-1}] \cdot (x_i - c_k)^T$
<p><b>Шаг 6. Проверка условия остановки</b></p> <p><math> \mathfrak{R} - \mathfrak{R}^*  &lt; \varepsilon</math>, где <math>\mathfrak{R}^*</math> - матрица нечеткого разбиения на предыдущей итерации, если условие выполняется то переход на шаг 7 если нет то на шаг 3.</p>	<p><b>Шаг 6. Пересчет элементов матрицы нечеткого разбиения</b></p> <p>если <math>D_{G_k} &gt; 0</math>, то <math>\mu_{ij} = \frac{1}{(D_{ij}^2 \sum_{k=1}^K \frac{1}{D_{ik}^2})^{\frac{1}{\omega-1}}}</math>;</p> <p>если <math>D_{G_k} = 0</math>, то <math>\mu_{ik} = \begin{cases} 1, k = j \\ 0, k \neq j \end{cases} \quad k = \overline{1, K}</math></p>
<p><b>Шаг 7. Конец</b></p>	<p><b>Шаг 7. Проверка условия остановки</b></p> <p><math> \mathfrak{R} - \mathfrak{R}^*  &lt; \varepsilon</math>, где <math>\mathfrak{R}^*</math> - матрица нечеткого разбиения на предыдущей итерации, если условие выполняется то переход на шаг 8 если нет то на шаг 3.</p>
	<p><b>Шаг 8. Конец</b></p>

Проведем кластеризацию инновационных ИТ-проектов по рассмотренным алгоритмам. Количество проектов  $N=7$ .

В качестве признаков проектов  $S$  определим:

$S_1$  – уровень инвестиционной привлекательности проекта, представляющей собой лингвистическую оценку из терм-множества {"очень низкий", "низкий", "средний", "высокий", "очень высокий"}.

$S_2$  – индекс доходности проектов, определяемый как отношение чистого приведенного дохода  $NPV$ , генерируемый проектом, к вложенным инвестициям  $I$ . Результаты кластеризации представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты нечеткой кластеризации

№	Алгоритм FCM			№	Алгоритм Густафсона-Кесселя		
	К1	К2	К3		К1	К2	К3
1	0,077	0,879	0,043	1	0,058	0,916	0,025
2	<b>0,024</b>	<b>0,961</b>	0,014	2	<b>0,865</b>	<b>0,125</b>	0,008
3	0,049	0,919	0,031	3	0,069	0,899	0,031
4	<b>0,092</b>	<b>0,839</b>	0,069	4	<b>0,745</b>	<b>0,189</b>	0,057
5	0,094	0,848	0,057	5	0,135	0,816	0,048
6	0,909	0,066	0,027	6	0,751	0,273	0,07
7	0,917	0,057	0,026	7	0,689	0,196	0,114

По данным таблицы видно, что в результате кластеризации по двум алгоритмам имеются противоречия по принадлежности к кластеру у проектов № 2, 4. Для определения наиболее точного алгоритма проведем оценку качества кластеризации с использованием следующих скалярных мер достоверности:

1) Коэффициент распределения  $Z_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N (\mu_{ij})^2$ . Максимальному значению соответствует оптимальное распределение объектов по кластеру.

2) Энтропия классификации  $Z_2 = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N \mu_{ij} \log(\mu_{ij})$ . Меньшее значение показателя соответствует лучшему качеству кластеризации.

3) Показатель Хие-Бени  $Z_3 = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N (\mu_{ij})^\omega \cdot (x_j - v_i)^2}{N \min_{i,k} (x_j - v_i)^2}$ . Чем меньше значение показателя, тем выше качество кластеризации.

Оценим качества кластеризации в таблице 3.

Таблица 3

Результаты оценки качества кластеризации

Алгоритм	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
FCM	0,557	0,675	0,683
GK	0,863	0,538	0,492

Таким образом, видно, что алгоритм Густафсона-Кесселя имеет наилучшие показатели качества, а значит предпочтительно использовать именно его для решения задачи нечеткой кластеризации проектов.

Алгоритм нечетких с- средних имеет некоторые ограничения, сужающие область его применимости. Одно из ограничений происходит от использования функции принадлежности, определяемой евклидовой метрикой, что приводит к строго сферической форме кластера.

Однако в реальных задачах кластеризации нередко встречаются данные, в которых форма скоплений сильно отличается от гиперсфер, либо шкалы значений отдельных компонент векторов наблюдений имеют разный масштаб.

Алгоритм Густафсона- Кесселя использует адаптивную форму для каждого кластера и находит кластеры в виде гиперэллипсоидов различной ориентации, что позволяет корректно упорядочивать объекты по конкретным кластерам. Также алгоритм может применяться для поиска линейных кластеров.

#### Список литературы

1. Ажмухамедов, И.М. Введение метрических характеристик для решения задачи оценки и управления рисками / И.М. Ажмухамедов, О.Н. Выборнова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – №3. С. 10-22.
2. Демич, О. В. Метод самоорганизации поиска и его применение для задачи принятия решения / О. В. Демич, В. Ф. Шуршев // Системы управления и информационные технологии. 2005. № 3 (20). С. 14-16.
3. Квятковская, И.Ю. Методологические основы поддержки принятия управленческих решений в информационном пространстве регионального кластера: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.13.10 / Квятковская Ирина Юрьевна. – Астрахань., 2009. – 287 с.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИТ-ПРОЕКТАМИ

*Чертина Е.В.*

старший преподаватель кафедры «Экономика бизнеса и финансы»,  
Астраханский государственный технический университет,  
Россия, г. Астрахань

Рассмотрены основные подходы к определению понятия «система поддержки принятия решений». Сформулированы основные требования к системе поддержки принятия решений при управлении ИТ-проектами, а также возможные направления по ее разработке.

*Ключевые слова:* система поддержки принятия решений, управление ИТ-проектами, интеллектуальные системы.

В зарубежной и отечественной литературе существуют различные трактовки определения «система поддержки принятия решений» [2, 4, 5]:

- «основанная на использовании моделей совокупность процедур по обработке данных и суждений, помогающих руководителю в принятии решений»;
- «интерактивные автоматизированные системы, которые помогают лицам, принимающим решения, использовать данные и модели, чтобы решать неструктурированные проблемы»;

- «компьютерная информационная система, используемая для поддержки различных видов деятельности при принятии решений в ситуациях, где невозможно или нежелательно иметь автоматическую систему, которая полностью выполняет весь процесс решения»;

- «...системы позволяющие пользователю обрабатывать и анализировать массивы данных с помощью совокупности моделей объективного характера»;

- «человеко-машинные системы, которые позволяют лицам, принимающие решения, использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для анализа и решения слабоструктуризованных и неструктуризованных проблем».

Исходя из вышеизложенного можно обобщить, что СППР – это система, предназначенная для решения многокритериальных структурированных слабоструктуризованных и неструктуризованных задач, используя модели, алгоритмы и программные средства.

При управлении экономическими системами СППР направлены на:

- помощь в сборе данных об исследуемом объекте;
- осуществление интеллектуального анализа данных;
- генерацию множества решений и стратегий;
- оценку возможных альтернатив решений;
- оценку последствий принимаемых решений;
- выбор лучшего решения исходя из заданных параметров.

В процессе принятия управленческих решений возникает необходимость использования экспертных методов и моделей, которые предполагают наличие «базы знаний» экспертов.

Знания имеют две формы [1]:

- декларированная, содержащая множество различных фактов, наблюдений, свойств исследуемого объекта;
- процедурная, содержащая набор условий и правил для вывода новых знаний.

База знаний включает в себя обе эти формы. Наличие блока «база знаний» в СППР определяет такие системы как интеллектуальные.

В интеллектуальных системах используются следующие подходы:

- использование опыта экспертов для анализа данных;
- использование статистических и эконометрических аппаратов для генерации управленческой информации;
- использование ретроспективного анализа;
- использование системы типа “картотека”, позволяющей пользователю получать доступ лишь к части данных;
- использование ассоциативных правил;
- кластерного анализа;

В настоящее время особое место в решении задач поддержки принятия решений имеют экспертные системы (ЭС) с элементами искусственного интеллекта. Такие системы построены на базах данных, созданных специалистами конкретных областей с набором навыков, компетенций и опыта экспертов конкретной практической области.

Технологию построения экспертных систем принято называть инженерия знаний, суть которой заключается в преобразовании экспертных суждений в базу знаний, которую впоследствии можно использовать для решения конкретных управленческих задач.

Еще одной разновидностью экспертных СППР является нейросетевая обработка данных. Она позволяет [3]:

- обрабатывать и анализировать изображения;
- осуществлять высокоскоростную обработку цифровых потоков;
- обеспечивать распознавание речи;
- осуществлять автоматизированный поиск информации;
- классифицировать информацию;
- осуществлять поддержку принятия решений.

В настоящее время, нейросетевая обработка данных осуществляется в виде:

- программной реализации на цифровых ЭВМ;
- программно-аппаратной реализации в виде сопроцессоров к ЭВМ;
- аппаратной реализации с использованием нейрокомпьютеров на базе нейроплат.

В процессе принятия управленческих решений по инвестированию в ИТ-проекты важной составляющей является продуманность, обоснованность и экономическая эффективность решений, так как перед ЛПР стоит задача оптимального распределения имеющихся финансовых ресурсов для получения максимальной доходности при минимальном уровне риска.

При осуществлении инвестирования ЛПР необходимо проводить:

- экономическую оценку ИТ-проектов;
- переоценку приоритетов ИТ-проектов;
- подготовку обоснований изменения стадии ИТ-проектов в процессе их реализации;
- мониторинг экономических показателей текущих ИТ-проектов фонда;
- эффективное распределение инвестиционных ресурсов по всем проектам портфеля для обеспечения оптимального соотношения риска и доходности.

Учитывая высокую неопределенность и риски реализации ИТ-проектов, необходима разработка высококачественной экспертной системы по оценке, отбору и управлению ИТ – проектами в процессе инвести-

рования. В качестве инструментальных средств для поддержки принятия решений в этом случае используются системы поддержки принятия решений.

СППР должна обеспечивать:

- проведение сравнительного анализа выполнения процессов оценки, ИТ- проектов;
- организацию и координацию сбора, накопления, хранения информации об инновационных ИТ-проектах;
- статистическую обработку данных;
- повышение качества и оперативности принятия решений по планированию и контролю ИТ-проектов и портфелей проектов.

При разработке системы поддержки принятия решений в области инвестирования ИТ-проектов одним из ключевых моментов является создание механизма выбора приоритетности тех или иных проектов. Причем задача выбора наиболее привлекательных ИТ-проектов не должна сводиться лишь к формированию множества наиболее привлекательных проектов. Система поддержки принятия решения должна предлагать возможные сценарии развития уже отобранных проектов с целью минимизации потерь венчурного инвестора.

Система поддержки принятия решений должна представлять собой диалоговую автоматизированную систему, с разработанным набором правил принятия решений и соответствующие модели с базами данных (количественные характеристики ИТ-проектов, результаты экспертной оценки, данные об экспертах и т.д.), а также интерактивный программно-алгоритмический процесс моделирования.

Таким образом, СППР по управлению ИТ-проектами должна представлять собой комплекс взаимосвязанных программных модулей с соответствующей информационной поддержкой, а также экспертные и интеллектуальные системы, позволяющие решать определенные задачи используя соответствующую базу знаний.

#### **Список литературы**

1. Квятковская, И.Ю. Методологические основы поддержки принятия управленческих решений в информационном пространстве регионального кластера: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.10 / Квятковская Ирина Юрьевна. – Астрахань, 2009. – 287 с.
2. Ларичев, О.И. Некоторые проблемы искусственного интеллекта. Сборник трудов ВНИИСИ. 1990. № 10. С. 3-9.
3. Литвак, Б.Г. Экспертные технологии в управлении [Текст]: монография / Б.Г. Литвак М.: Дело, 2004. 232 с.
4. Gorry G. A. Scott Morton M.S. A Framework for Management Information Systems. // Sloan Management Review. – 1997. – 13, № 1. – P. 55-70.
5. Little J. D. C. Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus. // Management Science. – 1970. – 16, № 8. – P. 466-485.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

***Чуларис А.А.***

профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства»,  
д-р техн. наук, профессор, Донской государственный технический университет,  
Россия, г. Ростов-на-Дону

***Людмирский Ю.Г.***

профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства»,  
д-р техн. наук, профессор, Донской государственный технический университет,  
Россия, г. Ростов-на-Дону

***Рзаев Р.А.***

ассистент кафедры «Материаловедение и технологии сварки»,  
Астраханский государственный университет, Россия, г. Астрахань

***Нескоромный С.В.***

доцент кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства»,  
канд. техн. наук, доцент, Донской государственный технический университет,  
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье представлен анализ формирования неразъемных соединений разнородных металлов на основе механизма твердофазного диспергирования в условиях сварки трением с перемешиванием при условии относительно слабого температурного воздействия, отличающегося от температур плавления соединяемых материалов.

*Ключевые слова:* сварка трением с перемешиванием, твердофазное диспергирование разнородных металлов, условия сверхпластичности в зоне сварки, интерметаллидные фазы.

В работах [7, 8] установлено, что после воздействия вращающегося инструмента на поверхность меди, на ней образуется тончайший, до  $1\div 2$  мкм, слой, почти полностью состоящий из вакансий с относительным числом вакансий  $\sim 2,5 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$ . Вследствие воздействия сдвигающей деформации под этим слоем формируется область, пересыщенная дислокациями с плотностью  $10^{16} \text{ м}^{-2}$ . Такая дефектность твердой поверхности меди может содействовать развитию в объеме поверхностных шероховатостей массопереноса, соизмеримого с диффузией в жидкой фазе на фоне активирующего воздействия псевдожидкого поверхностного слоя пластичного металла, способного к диффузионно-вязкому растеканию вследствие понижения микроскопического предел текучести материала микровыступов. Следствием этих процессов должно стать размытие микровыступов и увеличение площадей боковых поверхностей образующихся треков в направлении наиболее высокой текучести твердого пластичного материала. Пересыщение треков дефектами типа краткорезирующих межузельных атомов, вакансий и дислокаций инициирует их слияние с образованием микротрещин и вызывает фрагментацию треков твердого пластичного металла подобно явлению твердожидкофазного диспергирования.

Исходя из общих представлений о механизме диспергирования, разработанного авторами [2, 5], важнейшей составляющей диспергирования является деформация твердого металла, которая развивается в местах стыков отдельных зерен поверхностного слоя при одновременном действии инструмента, провоцирующего образование точечных, линейных, плоских дефектов кристаллической решетки.

На фоне термомодеформационных условий сварки трением при жидкофазном диспергировании деформационный эффект усиливается действием расклинивающего эффекта Ребиндера вследствие капиллярного проникновения жидкой фазы на фоне термомодеформации отдельных зерен или зеренных кластеров.

При твердожидкофазном диспергировании функции жидкой фазы принадлежат потокам твердого пластифицированного металла, перемещаемого пином или торцом инструмента. Выступающая часть макровыступов охватывается с двух сторон потоками (микроструями) деформируемого пластичного металла, перемещающегося в режиме диффузионно-вязкого течения, и придает этим фрагментам вид пластинчатых треков. Благодаря объемному всестороннему воздействию, треки утоняются, расслаиваются на плоские фрагменты, а на периферийных участках превращаются в обособленные дисперсные включения из материала макровыступов.

В соответствии с исследованиями [1], при пластическом растекании пластичного металла по поверхности твердого под действием внешнего давления, создаваемого инструментом на металл, на контактных поверхностях образуется большое количество точечных дефектов преимущественно в виде вакансий и, вполне вероятно, в виде межузельных атомов благодаря непрерывному процессу разрыва связей. На фоне относительно невысокого давления  $\approx 0,9$  т алюминия, создающего градиент давления, получают развитие диффузионные процессы, ответственные за массоперенос. При этом как было показано в работе [6] диспергирование под давлением и ударом увеличивается до значений, характерных для диффузии по границам зерен, поверхностной диффузии и даже диффузии в жидкую фазу.

Экструзия пластичного твердого металла стимулирует развитие фрагментации в твердых участках металла макровыступа и создает поток вещества преимущественно в направлении поступательного перемещения инструмента и частично в нормальном направлении, о чем свидетельствуют макропотоки металла, которые вращающийся инструмент перемещает в корневую часть сварного шва в направлении действия внешних сварочных напряжений. В этих условиях отраженные от донной части потоки пластичного металла отесняют более твердые фрагменты металла макровыступов вверх. Там, где равнодействующая сил образует угол с вектором скорости сварки, треки пластифицированного металла изгибаются и одновременно происходит их фрагментация вследствие развития явления диспергирования. Образование мелкозернистых фрагментов пластичного твердого металла в условиях локальной пластической деформации со скоростью  $10^{-2} \div 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  создает классические условия для развития явления сверхпластического тече-

ния твердого пластичного металла. При проявлении эффекта сверхпластичности становится заметным его вклад в диспергирование поверхностных объемов твердого пластичного металла (в рассматриваемом случае – меди в контакте с алюминием) и композиционирование приконтактной зоны алюминия на глубину сотни микрометров с образованием мелкодисперсных фрагментов меди (рис. 1).

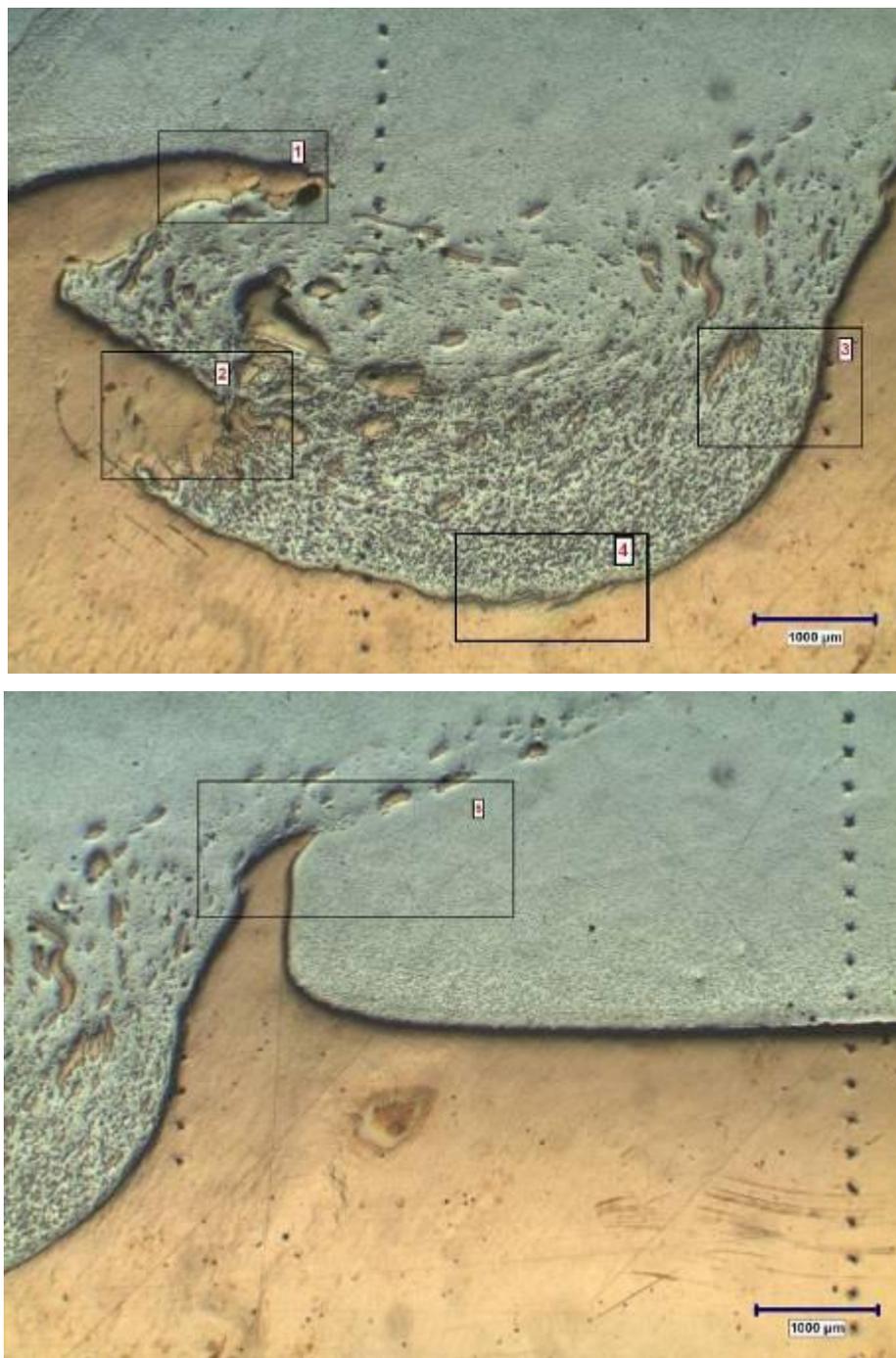


Рис. 1. Микроструктуры соединений в зоне сплавления (без травления):  
1,5 – выброс фрагмента твердой меди под действием потока экструдированного алюминия; 2 – участок начального развития твердофазного диспергирования твердой меди; 3 – участок затухания диспергирования в зоне затухания движения потока алюминия, находящего в сверхпластическом состоянии; 4 – донная граница раздела твердых разнородных материалов (медь-алюминий)

Движение макро- и микровыступов меди в приконтактной зоне алюминия не имеет кристаллографической направленности. Однако визуально фиксируется, что в областях «открытых капилляров – каналов» медные поверхностные слои испытывают значительные упругопластические деформации, о чем свидетельствуют следы поверхностной деформации, фрагментации и расслоения.

Выявлено, что перемещение дисперсных частиц меди, вероятно, связано с коллективным перемещением дефектов кристаллической решетки на фоне преимущественного движения полос сдвига.

Экспериментально обнаружена зависимость диффузионной подвижности от линейных и двумерных (границы зерен) дефектов. Повышенные скорости деформации в зоне контакта реализуются в значительной степени за счет направленного воздействия сварочных напряжений, создаваемых рабочим инструментом. Это активизирует ротационные (поворотные) механизмы пластической деформации не только на уровне микрообъемов, но и макрообъемов взаимодействующих металлов, облегчая формирование непрерывной структуры передеформированного металла (рис. 2).

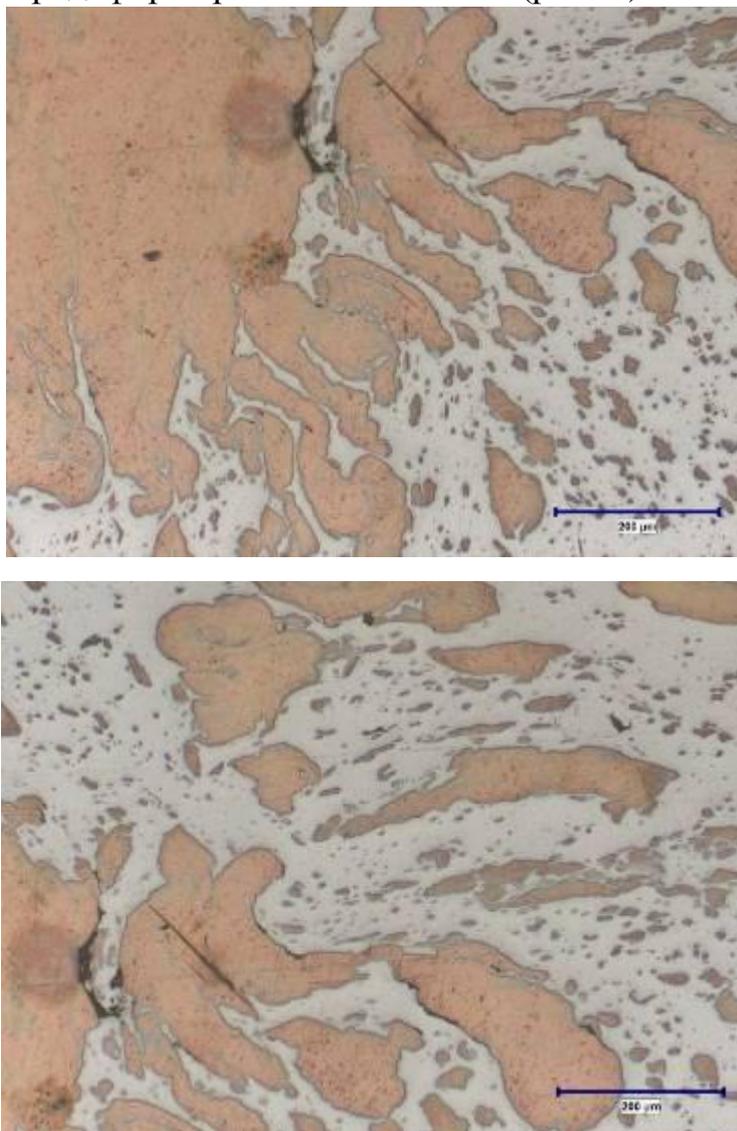


Рис. 2. Микроструктуры соединений в зоне сплавления (с травлением)

Одновременно в зоне контакта соединяемых металлов действуют не только ускоренные диффузионные механизмы массопереноса, но и механические перемещения макрофрагментов, микро- и макропотоков взаимодействующих металлов (см. рис. 2) [3, 4].

Отмеченные явления позволяют объяснить отсутствие на границе контакта сплошной прослойки интерметаллидной фазы  $\text{CuAl}_2$ , образование которой по термодинамическим оценкам следовало ожидать в передеформированной инструментом зоне соединения.

Условия ускоренного диффузионно-механического массопереноса в широкой приконтактной зоне взаимодействия препятствуют достижению критических концентраций образования зародышей интерметаллидной фазы, а интенсивные процессы диспергирования в условиях твердофазного взаимодействия, подобных сверхпластичности, способствуют предотвращению формирования монолитного слоя фазы  $\text{CuAl}_2$ . Отдельные островковые макрофрагменты меди, отороченные пленкой фазы  $\text{CuAl}_2$  (по данным микро-рентгеноспектрального анализа) удается выявить в зоне взаимодействия.

Обнаруженные фрагменты интерметаллидной фазы  $\text{CuAl}_2$  (рис. 3) с микротвердостью  $97 \div 108 \text{ кгс/мм}^2$  вследствие распределенности и малых размеров слабо влияют на механические свойства разнородных соединений алюминий-медь, характеризующихся ограниченной взаимной растворимостью.

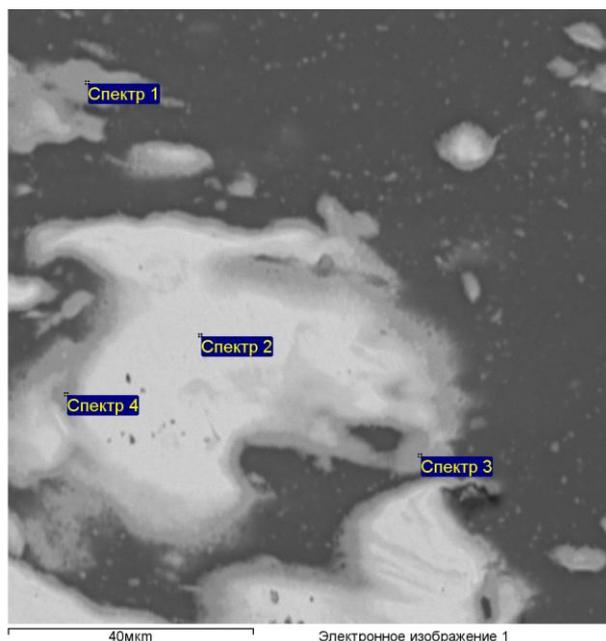


Рис. 3. Изменение локального элементного состава в зоне сплавления:

- 1, 3 – спектры наиболее дефектные места вероятного зарождения  $\text{CuAl}_2$ ;  
2, 4 – спектры областей в центральной части диспергированных фрагментов твердой меди, свободные от интерметаллидов

#### Список литературы

1. Алехин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов. М.: Наука, 1983. 280 с.
2. Лукьянов В.Ф., Людмирский Ю.Г., Чуларис А.А., Котлышев Р.Р., Крамской А.В., Гунин С.А., Бубенок Е.С. Пат. 2446927 РФ, МПК: В 23 К 20 12, В 23 К 103 18 Способ по-

лучения разнородных материалов. №: 2010135321/02; Заявл. 23.08.2010; Оpubл. 10.04.2012. Бюл. № 10.

3. Маркашова Л.И., Григоренко Г.М., Арсенюк В.В. Процессы пластического деформирования, массопереноса, формообразования в условиях повышенных скоростей деформации // Металлофизика и новейшие технологии. 2001. Т.23, № 9. С. 1259-1277.

4. Маркашова Л.И., Арсенюк В.В., Григоренко Г.М. Особенности процессов массопереноса при сварке давлением разнородных материалов // Сварочное производство. 2004. № 4. С. 28-35.

5. О механизме образования нахлесточного соединения алюминиевых сплавов с медными при сварке трением с перемешиванием / Бубенок Е.С., Людмирский Ю.Г., Кудряков О.В. и др. // Сварка и диагностика. 2014. № 3. С. 50-53.

6. Особенности деформации и напряженного состояния в соединениях разнородных металлов при диффузионной сварке / Лариков Л.Н. Белякова М.Н., Замков В.Н. и др. // Автоматическая сварка. 1982. № 12. С. 13-17.

7. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И., Босов С.В. Рентгенографический метод исследования структурных изменений в тонком поверхностном слое металла при трении // Заводская лаборатория. 1973. № 3. С. 293-296.

8. Рыбакова Л.М. Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металлов. М.: Машиностроение, 1982. 212 с.

## **НАЧАЛО ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ г. НОВОСИБИРСКА ПО РАДИАЛЬНО-КОЛЬЦЕВОЙ СХЕМЕ**

***Чуприна А.О.***

студентка направления подготовки 08.03.01 «Строительство»,  
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,  
Россия, г. Новосибирск

В статье рассматривается модель планировочной структуры г. Новосибирска в начале его формирования, проводится сравнительный анализ с городами России и с зарубежными городами.

*Ключевые слова:* планировка, радиально-кольцевая структура, кольцевые магистрали, застройка.

Во многих городах мира в наше время прослеживается формирование кольцевых магистралей. Одни города получают кольцевую схему с момента основания, в других она формируется постепенно по мере роста города, третьи – города со сложившейся планировкой – приобретают её в процессе реконструкции.

Архитектурно-пространственное наследие русских городов, полученное по сумме источников: материальным остаткам, сохранившимся на поверхности земли (древние сооружения, валы или их фрагменты), данным археологических раскопок и поздним чертежам.

В процессе своего роста города стремились в конечном итоге к кругообразному типу планировочной структуры. Они формировались вокруг кремлей, монастырей и ведущих к ним дорог.

При такой планировке центр города, являлся сосредоточием основных межселенных магистралей, что формировало высокую плотность транспортной нагрузки, например торговые площади Москвы в ярмарочные дни пропускали за час до 3000 ед., гужевого транспорта. Достоинством радиально-кольцевой структуры является компактная форма плана, при которой в наименьшей степени нарушается природное окружение города. Однако в полной мере преимущества этой схемы могут быть реализованы только в небольших по размеру городах. При увеличении территории центр города испытывает функциональные перегрузки и отрезан от природного окружения, а периферийные районы оказываются на значительном удалении от центра [4].

Стоит отметить особенности радиально-кольцевой планировки городов, в которой город, развиваясь от центра, имеет сеть кольцевых магистралей и радиальных улиц, сходящихся к центру. По такой схеме развивалась и сегодня застроена значительная часть старых городов Европы и России, в том числе Москва и Новосибирск. Одновременно с этим сеть кольцевых дорог, при высоком уровне автомобилизации, критично влияет на хордовые магистрали и предъявляет дополнительные требования к количеству полноценных дублеров.

Так как радиально-кольцевая структура нуждается в огромных территориях для нового «кольца». Например, у Москвы давно существуют транспортные и экологические проблемы, а так же проблема перенаселения. Пока же крупные города с транспортной неприспособленностью старых планировочных структур (радиального типа), с «вольным» использованием территорий, не отвечают элементарным стандартам городской среды, поэтому крупные города стали сложными, внутренне противоречивыми системами. В качестве примера приведем «Рейтинг городов мира с самыми большими дорожными пробками»: Сан-Паулу, Лос-Анджелес, Пекин, Нью-Йорк, Брюссель, Варшава, Мехико, Москва, Нью-Дели. (Многие из этих городов имеют радиально-кольцевую планировку городских территорий) [3].

Новосибирск так же, как и Москва в начале своего развития формировался по радиально-кольцевой системе. В ноябре 1925 г. местный инженер И.И. Загивко представил эскизный проект планировки города (рис.), в котором предлагалось принципиально изменить планировочную структуру города, построив его по радиально-кольцевой схеме, частично совместив со сложившейся прямоугольной сеткой кварталов. Центром радиальной системы улиц планировалась Ярмарочная площадь (ныне площадь им. Ленина). Предлагалось развитие города на противоположном левом берегу с устройством ряда мостовых переходов. Река Обь становилась важнейшим элементом в панорамах застройки города [1].

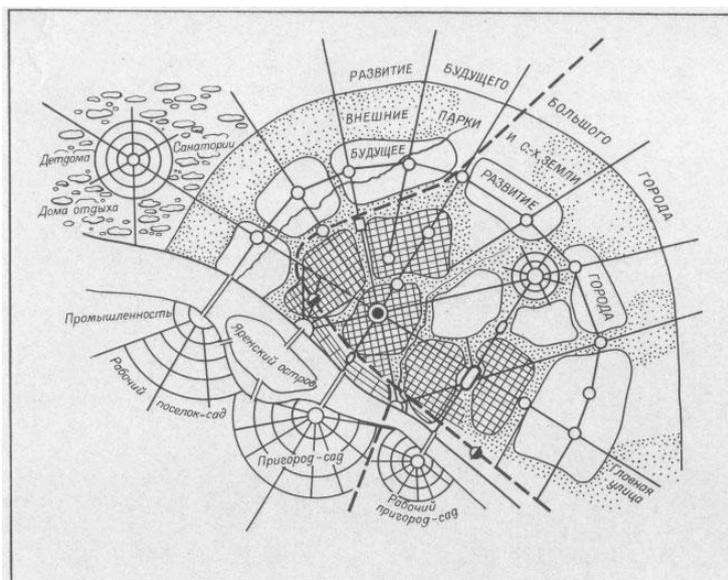


Рис. Схема планировки Новосибирска 1925 г., автор И.И. Загрявко

По проекту Б.А. Коршунова в 1929 г. сетка магистралей селитебного района была принята радиально-кольцевая с двумя центрами: городской у площади им. Сталина (ныне им. Ленина) и краевой – в Октябрьском районе. Помимо радиальных и кольцевых магистралей прокладывалась новая осевая магистраль от железнодорожного вокзала на юго-восток, параллельно реке Оби. Эта магистраль должна была являться главнейшей композиционной осью города, эта роль закреплялась за Красным проспектом. Расширение города проектом предусматривалось на левом берегу Оби и в сторону реки Ини на правом берегу.

Архитекторами неоднократно предпринимались попытки "сломать" радиально-кольцевую структуру г. Москвы, но, как правило, эти проекты заканчивались неудачно: наложение прямоугольной сетки улиц требовало сноса весьма значительного числа зданий, что создавало значительный ущерб историческому и архитектурному облику города [2].

В отличие от Москвы, Новосибирск смог преодолеть исторически сложившуюся радиально-кольцевую структуру города, и теперь развивается по многоядерной или лепестковой структуре.

#### Список литературы

1. Баландин, С.Н. Генплан Новосибирска. Попытка первая. Проект И.И. Загрявко [Электронный ресурс] / С.Н. Баландин. – Режим доступа: <http://nsk.novosibdom.ru/node/335>. Дата обращения: 24.06.2016.
2. Васильченко, Т.А., Гашимова А.Р. Математические модели плана города [Электронный ресурс] / Т.А. Васильченко. – Режим доступа: [http://kafedraeiit.ucoz.ru/publ/materialy\\_konferencii\\_16\\_maja\\_2014\\_goda/sekcija\\_9\\_matematika/matematicheskie\\_modeli\\_plana\\_goroda/12-1-0-164](http://kafedraeiit.ucoz.ru/publ/materialy_konferencii_16_maja_2014_goda/sekcija_9_matematika/matematicheskie_modeli_plana_goroda/12-1-0-164). Дата обращения: 24.06.2016.
3. Иванова, З.В. Фактор землепользования в архитектурно-планировочном генезисе Новосибирска [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. арх. (18.00.01) / Иванова Зоя Васильевна – Новосибирск, 2005. – 155 с.
4. Царев, Е.Ю. Формирование кольцевых магистралей в современных городах [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. арх. (18.00.01) / Царев Евгений Юрьевич – Москва, 2003. – 180 с.

## К ВОПРОСУ О КРИВИЗНЕ СТАЛЬНОГО ЛИСТА В ДВЕНАДЦАТИРОЛИКОВОЙ МАШИНЕ

*Шинкин В.Н.*

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Россия, г. Москва

Предложен математический метод определения кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листопрямительной машине.

*Ключевые слова:* кривизна стального листа, листопрямительная машина, знакопеременный изгиб.

**Введение.** При расчетах мощности электродвигателей приводов многороликовых листопрямительных машин в работах [1, 2] 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 существенно изменяются от ролика к ролику. Поэтому энергосиловые оценки работ [1, 2] отличаются друг от друга в 2-3 раза.

Основная задача технологов при правке стального листа заключается в расчете оптимальных режимов его обжатия роликами правильных машин таким образом, чтобы на выходе из машины лист имел минимальные остаточные напряжения и кривизну (рис. 1) [3-87]. Для этого надо точно знать кривизну листа на рабочих роликах машины при правке. Решению этой задачи и посвящена данная работа на примере двенадцатироликовой правильной машины для холодной правки стального листа.

Правка стального листа осуществляется двенадцатью приводными правильными роликами – 6-тью верхними правильными роликами и 6-тью нижними правильными роликами. Нижние входные и выходные правильные ролики снабжены отдельными системами настройки их вертикального положения [1-7].

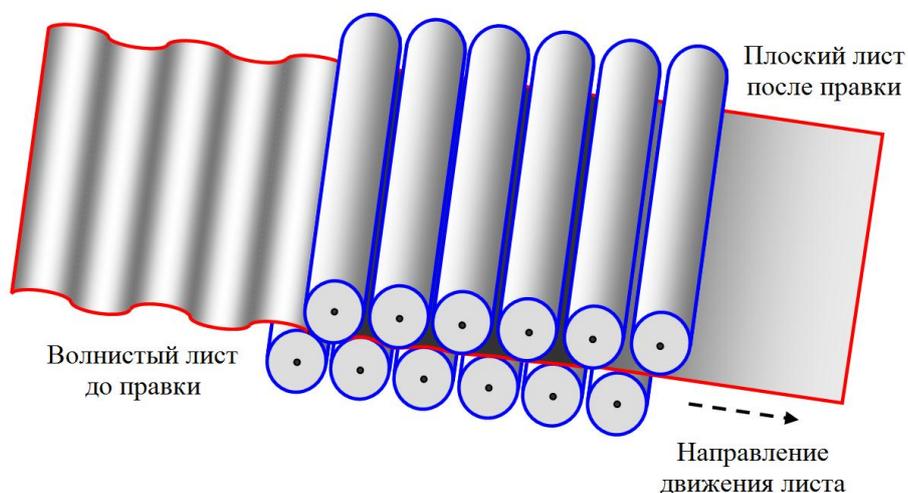


Рис. 1. Правка волнистости листа на двенадцатироликовой машине

Регулировка верхней кассеты роликов с помощью четырех гидроцилиндров допускает ее вертикальное перемещение и наклон в продольном и поперечном направлениях. Верхние рабочие ролики с верхним рядом опорных роликов поднимаются с помощью двухскоростного двигателя переменного тока посредством подъемных шпинделей.

**Коэффициент пружинения при изгибе.** Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны  $\rho$  равен [4-7]

$$\beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2 \frac{\rho \sigma_T}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho \sigma_T}{hE}\right)}.$$

Для высокопрочных трубных сталей  $\Pi_c \approx \Pi_p = \Pi$ .

**Математическая модель правки листа.** Пусть  $H_2, H_4, H_6, H_8, H_{10}, H_{12}$  – величины обжатия срединной поверхности стального листа рабочими роликами верхней кассеты. Не ограничивая общности, далее будем считать, что нижние рабочие ролики лежат на одном горизонтальном уровне ( $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = H_9 = H_{11} = 0$ ).

Отметим, что реальные значения обжатий верхних рабочих роликов правильной машины (расстояния между нижними точками поверхности верхних рабочих роликов ниже уровня верхних точек поверхности нижних рабочих роликов) на толщину листа меньше вышеуказанных значений обжатий срединной поверхности листа верхними рабочими роликами.

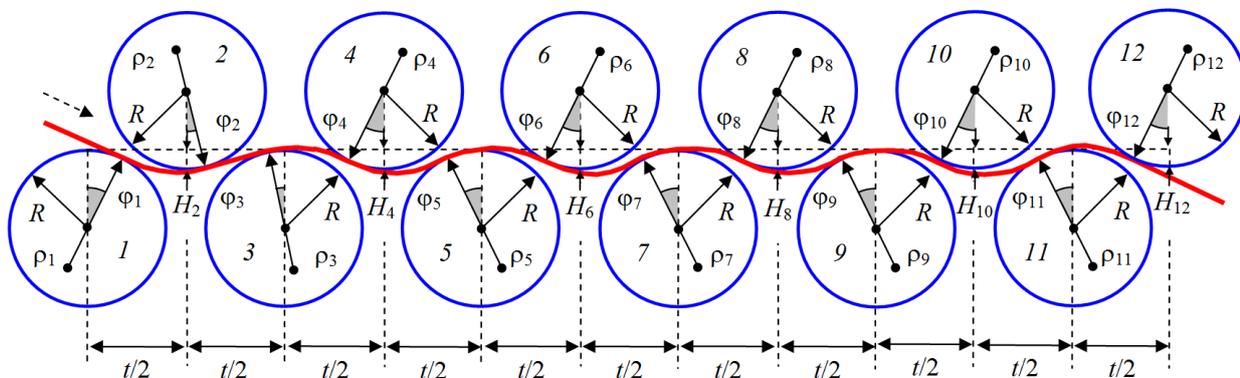


Рис. 2. Кинематическая схема правки листа между рабочими роликами

Пусть  $t$  – шаг между нижними рабочими роликами,  $h$  – толщина стального листа,  $R$  – радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ;  $\sigma_T$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами,  $\varphi_i$  – углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 12$ ) (рис. 2).

Введем двенадцать 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 помо-

щью 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 ( $i = 1 \dots 12$ ). 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*

$$z_3 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \cos \varphi_3 \right) \cos \varphi_2 +$$

$$+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2,$$

$$y_3 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \cos \varphi_3 \right) \sin \varphi_2 +$$

$$+ [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2,$$

$$a_2 = \frac{3y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^2}, \quad b_2 = \frac{2y_3 + \operatorname{tg}(\varphi_2 - \varphi_3)z_3}{z_3^3},$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{2,3} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{2,3} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{3,2} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[ 1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{3,2} = \frac{1}{\varepsilon_{3,2}};$$

*(2j - 1)-ый и 2j-ый ролики (j = 2,3,4,5,6)*

$$z_{2j} = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j-1} - R_0 \cos \varphi_{2j} \right) \cos \varphi_{2j-1} -$$

$$- [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j-1}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j})] \sin \varphi_{2j-1},$$

$$y_{2j} = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j-1} - R_0 \cos \varphi_{2j} \right) \sin \varphi_{2j-1} +$$

$$+ [H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j-1}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j})] \cos \varphi_{2j-1},$$

$$a_{2j-1} = \frac{3y_{2j} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j-1} + \varphi_{2j})z_{2j}}{z_{2j}^2}, \quad b_{2j-1} = \frac{2y_{2j} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j-1} + \varphi_{2j})z_{2j}}{z_{2j}^3},$$

$$\varepsilon_{2j-1} = \varepsilon_{2j-1,2j} = 2a_{2j-1}, \quad \rho_{2j-1} = \rho_{2j-1,2j} = \frac{1}{2a_{2j-1}},$$

$$\varepsilon_{2j,2j-1} = \frac{2a_{2j-1} - 6b_{2j-1}z_{2j}}{\left[1 + \left(2a_{2j-1}z_{2j} - 3b_{2j-1}z_{2j}^2\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2j,2j-1} = \frac{1}{\varepsilon_{2j,2j-1}};$$

*2j-ый и (2j + 1)-ый ролики (j = 2,3,4,5)*

$$z_{2j+1} = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j} - R_0 \cos \varphi_{2j+1}\right) \cos \varphi_{2j} -$$

$$- \left[H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j+1})\right] \sin \varphi_{2j},$$

$$y_{2j+1} = \left(\frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{2j} - R_0 \cos \varphi_{2j+1}\right) \sin \varphi_{2j} +$$

$$+ \left[H_{2j} - R_0(1 - \cos \varphi_{2j}) - R_0(1 - \cos \varphi_{2j+1})\right] \cos \varphi_{2j},$$

$$a_{2j} = \frac{3y_{2j+1} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j} + \varphi_{2j+1})z_{2j+1}}{z_{2j+1}^2}, \quad b_{2j} = \frac{2y_{2j+1} - \operatorname{tg}(\varphi_{2j} + \varphi_{2j+1})z_{2j+1}}{z_{2j+1}^3},$$

$$\varepsilon_{2j} = \varepsilon_{2j,2j+1} = 2a_{2j}, \quad \rho_{2j} = \rho_{2j,2j+1} = \frac{1}{2a_{2j}},$$

$$\varepsilon_{2j+1,2j} = \frac{2a_{2j} - 6b_{2j}z_{2j+1}}{\left[1 + \left(2a_{2j}z_{2j+1} - 3b_{2j}z_{2j+1}^2\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{2j+1,2j} = \frac{1}{\varepsilon_{2j+1,2j}}.$$

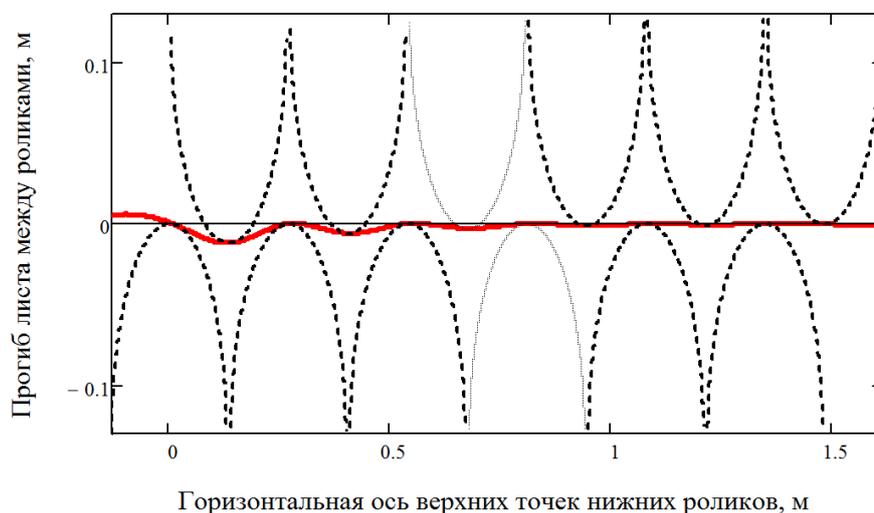


Рис. 3. Прогиб листа при правке на двенадцатироликовой машине

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{1,2} = \rho_1; \quad \rho_{j,j-1} = -\rho_{j,j+1}, \quad j = 2, \dots, 11; \quad \rho_{12} = \rho_{12,11} = \beta(\rho_{11,12})\rho_{11,12}.$$

**Результаты расчетов.** 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,  $H_{12} = 0,375$  мм и  $\rho_1 = -1$  м, показаны на

рис. 3-5. Точки локальных экстремумов кривизны соответствуют точкам касания листа с рабочими роликами правильной машины.

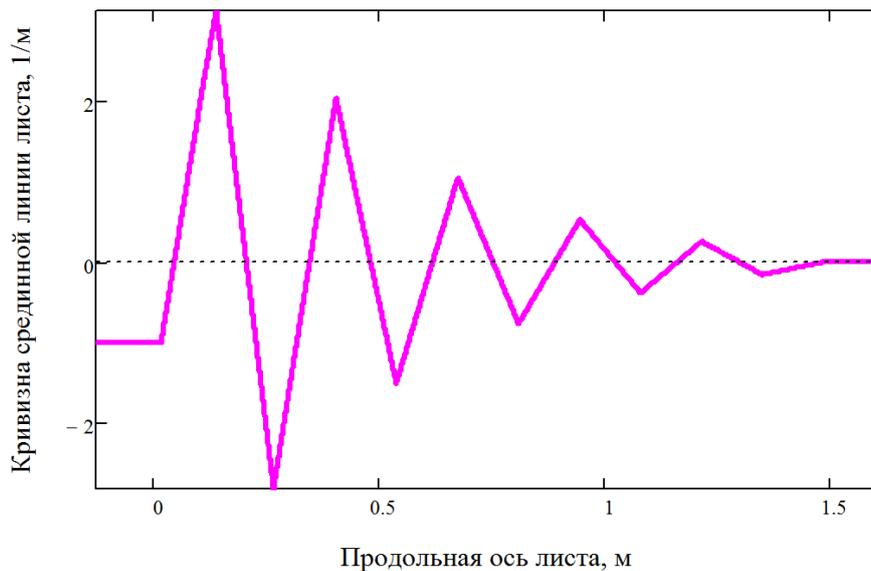


Рис. 4. Кривизна листа при правке на двенадцатироликовой машине

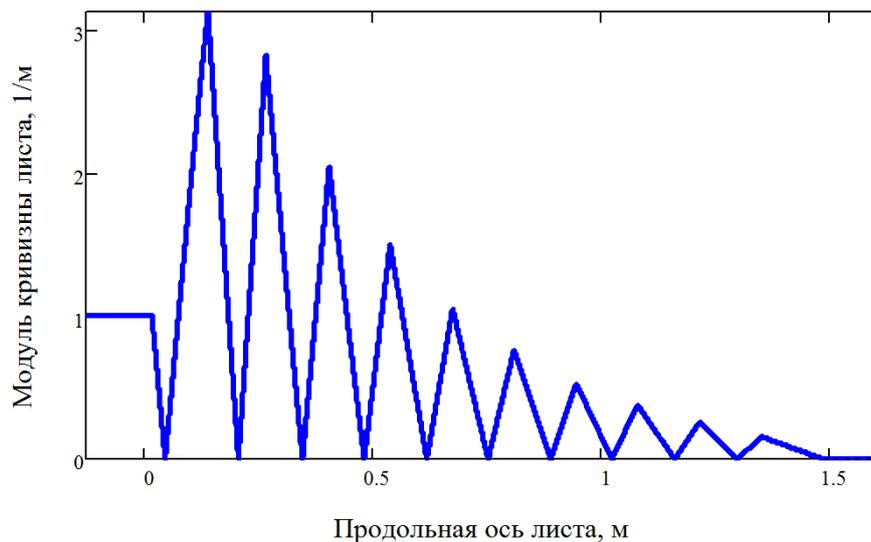


Рис. 5. Модуль кривизны листа при правке на двенадцатироликовой машине

**Выводы и рекомендации.** Построена математическая модель, позволяющая определить вид и кривизну срединной плоскости стального листа при и после его холодной правки на двенадцатироликовой листопрямительной машине.

При правильном подборе обжатий листа верхними роликами и не очень большой начальной продольной кривизне стальные листы при правке быстро «забывают» о своей первоначальной кривизне и после 4-го ролика кривизна всех листов становится практически одинаковой. Для этого величина обжатия листа первыми четырьмя роликами должна достигнуть некоторого оптимального значения, а доля пластической деформации по толщине листа должна составлять от 67% до 80%. Это важный эффект позволяет править стальные листы с непостоянной начальной продольной кривизной, не изме-

няя при правке величины обжатий листа рабочими роликами правильной машины.

Величину обжатия срединной плоскости листа на верхних 10-ом и 12-ом роликах подбирают так, чтобы свести кривизну листа на выходе из правильной машины практически к нулю. В этом случае три точки касания листа с 10-м, 11-м и 12-м роликами подбирают так, чтобы они приблизительно лежали на одной прямой. При этом остаточные напряжения в стенке листа также значительно уменьшаются.

Особого внимания требует правка толстых высокопрочных стальных листов, для которых отношение предела текучести к пределу прочности превышает 85–90%. В этом случае металл листа становится более «хрупким», при правке листа сложнее попасть в зону оптимальных значений пластических деформаций и легко приблизиться к пределу прочности металла на поверхности стального листа, что в свою очередь может вызвать появление нежелательных дефектов металла [1–87].

#### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. 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.
3. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
4. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
5. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
6. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
7. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
8. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
9. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатирولیковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
10. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатирولیковой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
11. 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.
12. 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.
13. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.

14. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
15. 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.
16. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
17. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
18. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
19. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
20. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
21. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
22. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
23. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
24. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
25. 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.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
27. 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.
28. 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.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Уругоупругое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
30. 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.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
32. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19–24.
39. 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.
40. 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.
41. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4–1. С. 114–119.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11–1. С. 252–257.
49. 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.
50. 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.
51. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 12–2. С. 251–258.
52. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямляющей машины // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 12–2. С. 259–264.

- вильной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
53. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
55. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
56. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
58. 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.
59. 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.
60. 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.
61. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagot Agrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
62. 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.
63. 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.
64. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagot Agrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
65. 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.
66. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagot Agrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
67. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
68. 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.
69. 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.

70. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.

71. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.

72. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.

73. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.

74. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.

75. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.

76. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.

77. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.

78. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.

79. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.

80. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.

81. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.

82. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.

83. 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.

84. 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.

85. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах девятироликовой листопрямляющей машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 138–146.

86. 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.

87. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

# К ВОПРОСУ О СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРАХ ДВЕНАДЦАТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРАВКЕ

**Шинкин В.Н.**

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Россия, г. Москва

Предложен математический метод определения силовых параметров (изгибающих моментов, реакций опор, остаточных напряжений) двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке стального листа.

*Ключевые слова:* кривизна стального листа, листопрямительная машина, знакопеременный изгиб.

**Введение.** В первой части работы была предложена методика определения формы и кривизны  $\varepsilon$  (радиуса кривизны  $\rho$ ) стального листа при правке на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Во второй части работы мы подробно рассмотрим методику определения изгибающих моментов и остаточных напряжений, а также реакций опор рабочих роликов в двенадцатироликовой листопрямительной машине.

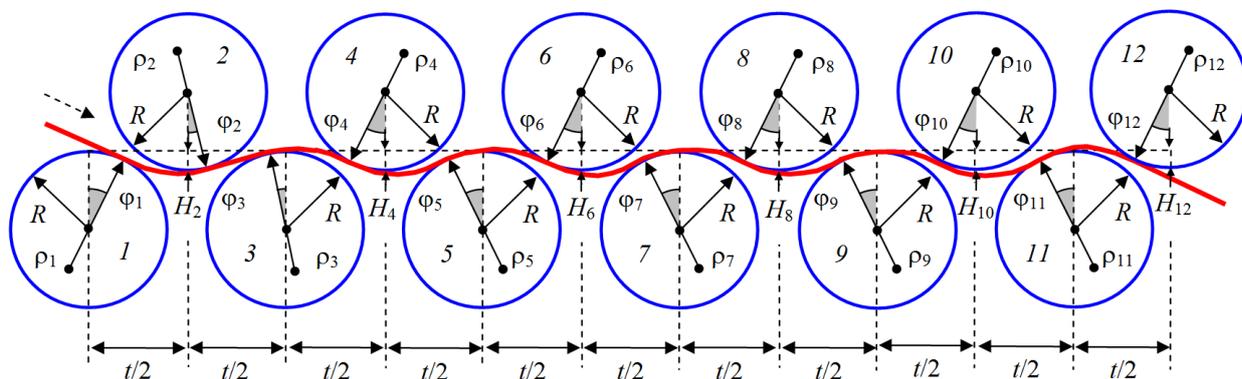


Рис. 1. Форма листа между двенадцатью рабочими роликами

**Изгибающий момент при правке стального листа [1–87].** 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:  $\sigma_T$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами,  $\varphi_i$  – углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 12$ ). Пусть нижние рабочие ролики лежат на одном горизонтальном уровне:  $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = H_9 = H_{11} = 0$  м (рис. 1).

При упругом изгибе листа ( $\rho \geq \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ ) коэффициент пружинения листа  $\beta(\rho) = \infty$ . При пластическом изгибе ( $\rho < \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ )

$$\beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2 \frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)}$$

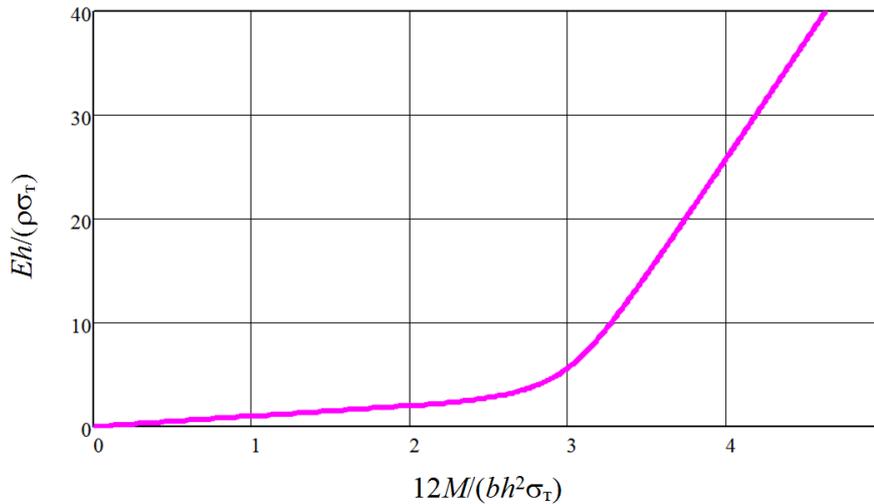


Рис. 2. График изгибающего момента

При пластическом изгибе листа изгибающий момент [4–7]

$$M(\rho) = \frac{bh^2\sigma_T}{12} \left(3 - 4 \left(\frac{\sigma_T\rho}{Eh}\right)^2\right) + \frac{bh^3(\Pi_p + \Pi_c)}{24\rho} \left(1 - 2 \frac{\sigma_T\rho}{Eh}\right)^2 \left(1 + \frac{\sigma_T\rho}{Eh}\right),$$

где  $b$  – ширина листа. Для сталей  $\Pi_c \approx \Pi_p = \Pi$ .

При упругом изгибе листа [1–7]

$$M(\rho) = \frac{bh^3E}{12\rho}.$$

График изгибающего момента  $M(\rho)$  показан на рис. 2.

Пусть  $M_i$  – изгибающие моменты листа в точках касания с роликами:

$$\begin{aligned} M_1 &= 0, & M_2 &= M(\rho_2), & M_3 &= -M(\rho_3), & M_4 &= M(\rho_4), \\ M_5 &= -M(\rho_5), & M_6 &= M(\rho_6), & M_7 &= -M(\rho_7), & M_8 &= M(\rho_8), \\ M_9 &= -M(\rho_9), & M_{10} &= M(\rho_{10}), & M_{11} &= -M(\rho_{11}), & M_{12} &= 0. \end{aligned}$$

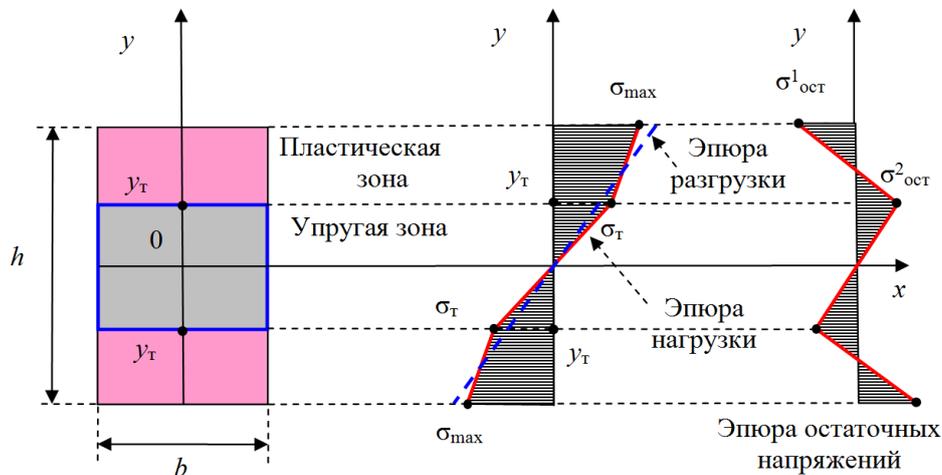


Рис. 3. Остаточные напряжения в стенке листа

**Остаточные напряжения.** Остаточные напряжения листа после распружинивания показаны на рис. 3, где  $\varepsilon_T = E/\sigma_T$ ,  $y_T = \sigma_T \rho / E$  – граница между упругой и пластической зонами. Наибольшие остаточные напряжения равны

$$\sigma_{\text{ост}}^1 = \sigma_T + \Pi(\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_T) - 6 \left( \frac{M}{bh^2} \right), \quad \sigma_{\text{ост}}^2 = \sigma_T - 12 \left( \frac{M}{bh^2} \right) \frac{\sigma_T \rho}{Eh}.$$

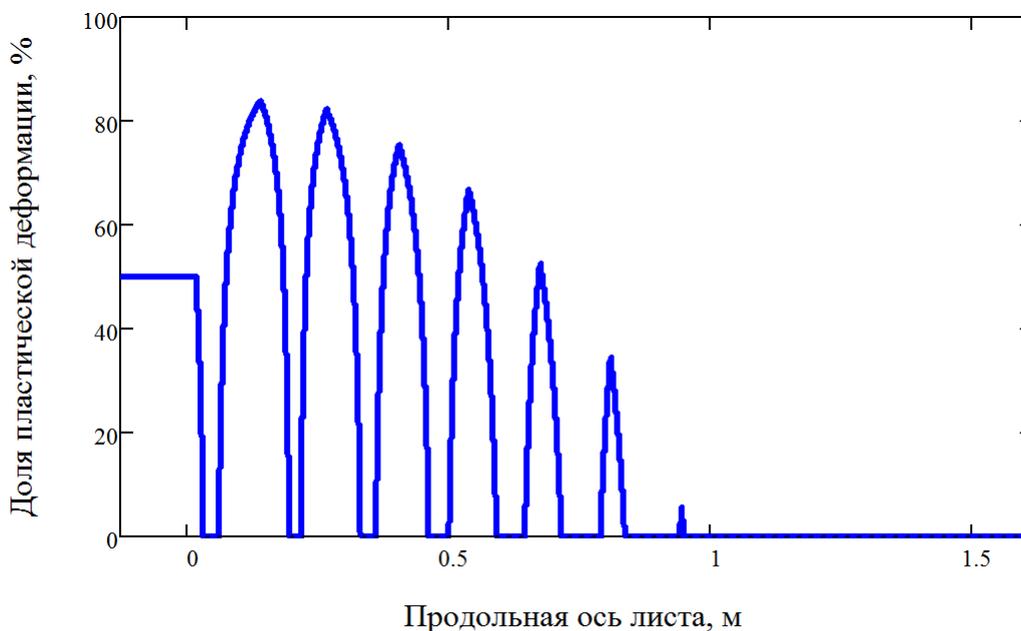


Рис. 4. Доля пластической деформации по толщине листа

**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 двенадцатироликовой 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,  $H_{12} = 0,375$  мм,  $H_{10} = 0,75$  мм,  $H_8 = 1,5$  мм,  $H_6 = 3$  мм,  $H_4 = 6$  мм и  $H_2 = 12$  мм показаны на рис. 4 и 5.

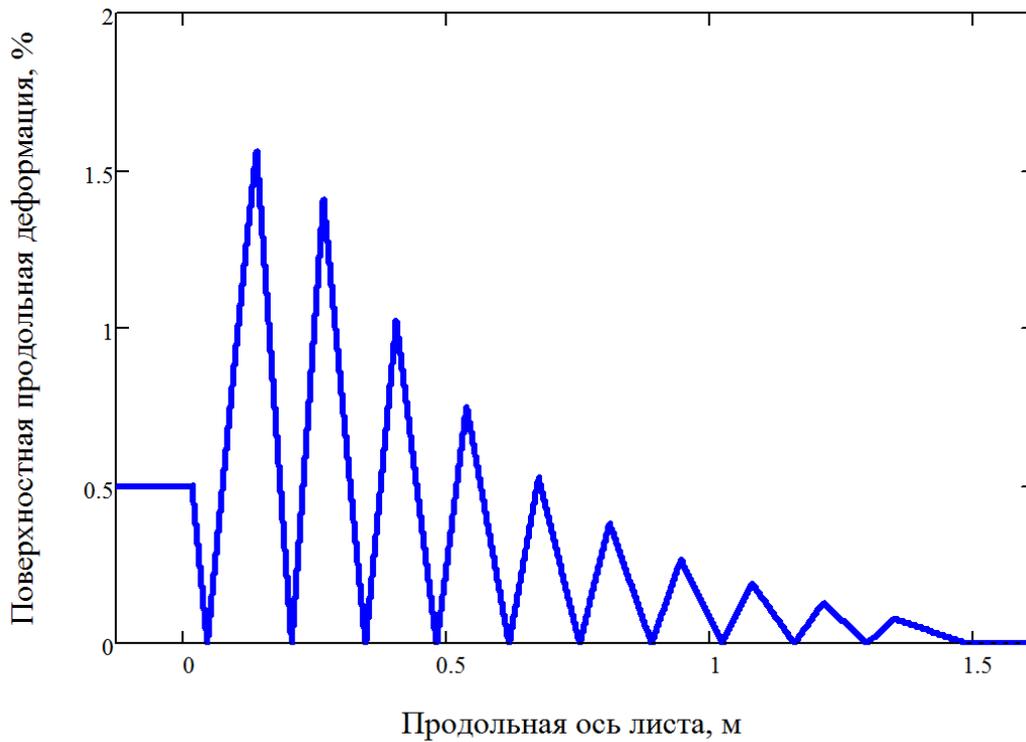


Рис. 5. Относительная деформация поверхностных продольных волокон

**Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопрямительной машины.** Пусть  $N_i$ ,  $M_{pi}$  и  $F_{ni}$  ( $F_{ni} = M_{pi}/R$ ) – соответственно реакция опоры, вращательный момент (передаваемый от редуктора) и подающее усилие ( $i$ -го ролика ( $i = 1 \dots 12$ )) (рис. 6).

Построим двенадцать систем координат  $y$ – $z$  в точках касания листа с роликами [4-7]. 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.

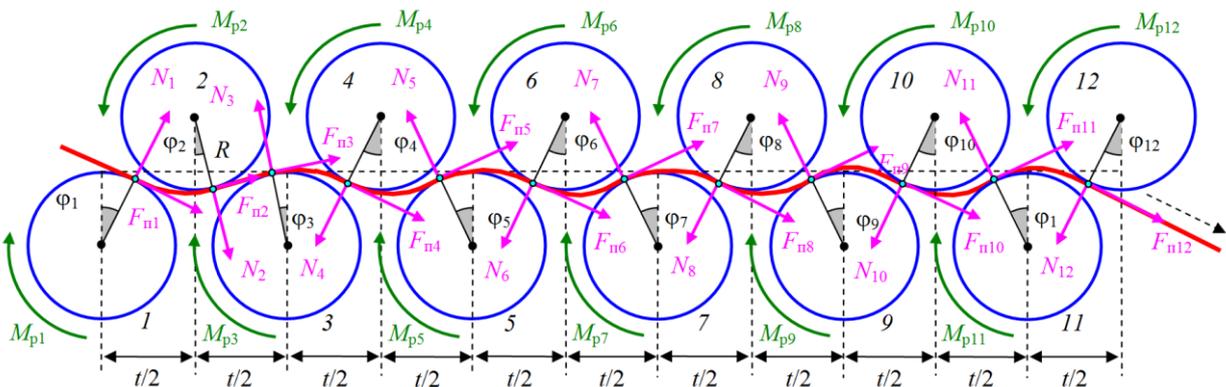


Рис. 6. Силовые факторы, действующие на лист

$$\Delta z_{21} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2, \quad \Delta y_{21} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2),$$

$$z_{21} = \Delta z_{21} \cos \varphi_1 + \Delta y_{21} \sin \varphi_1, \quad y_{21} = -\Delta z_{21} \sin \varphi_1 + \Delta y_{21} \cos \varphi_1,$$

$$\Delta z_{32} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3, \quad \Delta y_{32} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3),$$

$$\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, \\
\Delta z_{1110} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{10} - R_0 \sin \varphi_{11}, & \Delta y_{1110} &= H_{10} - R_0(1 - \cos \varphi_{10}) - R_0(1 - \cos \varphi_{11}), \\
z_{1110} &= \Delta z_{1110} \cos \varphi_{10} - \Delta y_{1110} \sin \varphi_{10}, & y_{1110} &= \Delta z_{1110} \sin \varphi_{10} + \Delta y_{1110} \cos \varphi_{10}, \\
\Delta z_{1211} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{11} - R_0 \sin \varphi_{12}, & \Delta y_{1211} &= H_{12} - R_0(1 - \cos \varphi_{11}) - R_0(1 - \cos \varphi_{12}), \\
z_{1211} &= \Delta z_{1211} \cos \varphi_{11} - \Delta y_{1211} \sin \varphi_{11}, & y_{1211} &= \Delta z_{1211} \sin \varphi_{11} + \Delta y_{1211} \cos \varphi_{11}.
\end{aligned}$$

Проекции главных векторов сил в точках касания листа с роликами:

$$\begin{aligned}
F_{01y} &= N_1 \cos \varphi_1 - F_{n1} \sin \varphi_1, & F_{01z} &= N_1 \sin \varphi_1 + F_{n1} \cos \varphi_1, \\
F_{02y} &= F_{01y} - N_2 \cos \varphi_2 + F_{n2} \sin \varphi_2, & F_{02z} &= F_{01z} + N_2 \sin \varphi_2 + F_{n2} \cos \varphi_2, \\
F_{03y} &= F_{02y} + N_3 \cos \varphi_3 + F_{n3} \sin \varphi_3, & F_{03z} &= F_{02z} - N_3 \sin \varphi_3 + F_{n3} \cos \varphi_3, \\
F_{04y} &= F_{03y} - N_4 \cos \varphi_4 - F_{n4} \sin \varphi_4, & F_{04z} &= F_{03z} - N_4 \sin \varphi_4 + F_{n4} \cos \varphi_4, \\
F_{05y} &= F_{04y} + N_5 \cos \varphi_5 + F_{n5} \sin \varphi_5, & F_{05z} &= F_{04z} - N_5 \sin \varphi_5 + F_{n5} \cos \varphi_5, \\
F_{06y} &= F_{05y} - N_6 \cos \varphi_6 - F_{n6} \sin \varphi_6, & F_{06z} &= F_{05z} - N_6 \sin \varphi_6 + F_{n6} \cos \varphi_6, \\
F_{07y} &= F_{06y} + N_7 \cos \varphi_7 + F_{n7} \sin \varphi_7, & F_{07z} &= F_{06z} - N_7 \sin \varphi_7 + F_{n7} \cos \varphi_7, \\
F_{08y} &= F_{07y} - N_8 \cos \varphi_8 - F_{n8} \sin \varphi_8, & F_{08z} &= F_{07z} - N_8 \sin \varphi_8 + F_{n8} \cos \varphi_8, \\
F_{09y} &= F_{08y} + N_9 \cos \varphi_9 + F_{n9} \sin \varphi_9, & F_{09z} &= F_{08z} - N_9 \sin \varphi_9 + F_{n9} \cos \varphi_9, \\
F_{010y} &= F_{09y} - N_{10} \cos \varphi_{10} - F_{n10} \sin \varphi_{10}, & F_{010z} &= F_{09z} - N_{10} \sin \varphi_{10} + F_{n10} \cos \varphi_{10}.
\end{aligned}$$

Добавки к реакциям сил в точках касания листа с роликами:

$$\begin{aligned}
 \Delta N_2 &= -F_{01y} \cos \varphi_2 + F_{01z} \sin \varphi_2, & \Delta F_{п2} &= F_{01y} \sin \varphi_2 + F_{01z} \cos \varphi_2, \\
 \Delta N_3 &= F_{02y} \cos \varphi_3 - F_{02z} \sin \varphi_3, & \Delta F_{п3} &= F_{02y} \sin \varphi_3 + F_{02z} \cos \varphi_3, \\
 \Delta N_4 &= -F_{03y} \cos \varphi_4 - F_{03z} \sin \varphi_4, & \Delta F_{п4} &= -F_{03y} \sin \varphi_4 + F_{03z} \cos \varphi_4, \\
 \Delta N_5 &= F_{04y} \cos \varphi_5 - F_{04z} \sin \varphi_5, & \Delta F_{п5} &= F_{04y} \sin \varphi_5 + F_{04z} \cos \varphi_5, \\
 \Delta N_6 &= -F_{05y} \cos \varphi_6 - F_{05z} \sin \varphi_6, & \Delta F_{п6} &= -F_{05y} \sin \varphi_6 + F_{05z} \cos \varphi_6, \\
 \Delta N_7 &= F_{06y} \cos \varphi_7 - F_{06z} \sin \varphi_7, & \Delta F_{п7} &= F_{06y} \sin \varphi_7 + F_{06z} \cos \varphi_7, \\
 \Delta N_8 &= -F_{07y} \cos \varphi_8 - F_{07z} \sin \varphi_8, & \Delta F_{п8} &= -F_{07y} \sin \varphi_8 + F_{07z} \cos \varphi_8, \\
 \Delta N_9 &= F_{08y} \cos \varphi_9 - F_{08z} \sin \varphi_9, & \Delta F_{п9} &= F_{08y} \sin \varphi_9 + F_{08z} \cos \varphi_9, \\
 \Delta N_{10} &= -F_{09y} \cos \varphi_{10} - F_{09z} \sin \varphi_{10}, & \Delta F_{п10} &= -F_{09y} \sin \varphi_{10} + F_{09z} \cos \varphi_{10}, \\
 \Delta N_{11} &= F_{010y} \cos \varphi_{11} - F_{010z} \sin \varphi_{11}, & \Delta F_{п11} &= F_{010y} \sin \varphi_{11} + F_{010z} \cos \varphi_{11}.
 \end{aligned}$$

Нормальные реакции опор рабочих роликов в точках касания с листом:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{M_2 - F_{п1}y_{21}}{z_{21}}, & N_2 &= \frac{-M_3 + M_2 - F_{п2}y_{32} - \Delta N_2 z_{32} - \Delta F_{п2}y_{32}}{z_{32}}, \\
 N_3 &= \frac{M_4 - M_3 - F_{п3}y_{43} - \Delta N_3 z_{43} - \Delta F_{п3}y_{43}}{z_{43}}, \\
 N_4 &= \frac{-M_5 + M_4 - F_{п4}y_{54} - \Delta N_4 z_{54} - \Delta F_{п4}y_{54}}{z_{54}}, \\
 N_5 &= \frac{M_6 - M_5 - F_{п5}y_{65} - \Delta N_5 z_{65} - \Delta F_{п5}y_{65}}{z_{65}}, \\
 N_6 &= \frac{-M_7 + M_6 - F_{п6}y_{76} - \Delta N_6 z_{76} - \Delta F_{п6}y_{76}}{z_{76}}, \\
 N_7 &= \frac{M_8 - M_7 - F_{п7}y_{87} - \Delta N_7 z_{87} - \Delta F_{п7}y_{87}}{z_{87}}, \\
 N_8 &= \frac{-M_9 + M_8 - F_{п8}y_{98} - \Delta N_8 z_{98} - \Delta F_{п8}y_{98}}{z_{98}}, \\
 N_9 &= \frac{M_{10} - M_9 - F_{п9}y_{109} - \Delta N_9 z_{109} - \Delta F_{п9}y_{109}}{z_{109}}, \\
 N_{10} &= \frac{-M_{11} + M_{10} - F_{п10}y_{1110} - \Delta N_{10} z_{1110} - \Delta F_{п10}y_{1110}}{z_{1110}}, \\
 N_{11} &= \frac{-M_{11} - F_{п11}y_{1211} - \Delta N_{11} z_{1211} - \Delta F_{п11}y_{1211}}{z_{1211}}, \\
 N_{12} &= \frac{-M_{11} - F_{п12}(z_{1211} \sin(\varphi_{11} + \varphi_{12}) - y_{1211} \cos(\varphi_{11} + \varphi_{12}))}{z_{1211} \cos(\varphi_{11} + \varphi_{12}) + y_{1211} \sin(\varphi_{11} + \varphi_{12})}.
 \end{aligned}$$

Предлагаемый выше метод вычисления силовых параметров двенадцатироликовой 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 [1-87].

### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. 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.
3. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
4. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
5. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
6. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
7. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
8. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
9. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
10. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
11. 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.
12. 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.
13. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
14. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
15. 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.
16. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
17. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
18. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
19. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
20. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
21. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.

22. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
23. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
24. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
25. 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.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
27. 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.
28. 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.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
30. 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.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
32. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
39. 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.
40. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JSOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. С. 64–67.
41. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса

- фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
49. 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.
50. 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.
51. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
52. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
53. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
55. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
56. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
58. 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.
59. 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.

60. Шинкин В.Н. Четырехроликковая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.
61. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироликковой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
62. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликковой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.
63. 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.
64. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
65. 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 JCQE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.
66. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
67. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
68. 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.
69. 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.
70. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.
71. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.
72. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.
73. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
74. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.
75. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликковой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.
76. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.
77. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
78. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
79. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
80. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликковой машины при

правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.

81. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.

82. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.

83. 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.

84. 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.

85. 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.

86. 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.

87. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

## **ПОДГИБ СТАЛЬНОГО ЛИСТА НА КРОМКОГИБОЧНОМ ПРЕССЕ ПО ЭВОЛЬВЕНТЕ. ЧАСТЬ 1. ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ**

***Шинкин В.Н.***

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Россия, г. Москва

Рассмотрен процесс подгиба кромок широкого стального листа на кромкогибочном прессе (КГП) фирмы SMS Meer при производстве сварных толстостенных одношовных прямошовных стальных труб большого диаметра по схеме JSOE для магистральных газонефтепроводов. При расчетах используется модель упругопластической деформации стали.

*Ключевые слова:* стальные трубы большого диаметра, кромкогибочный пресс, упругопластическая среда.

**Введение.** Для обеспечения высоких требований к эксплуатации магистральных газонефтепроводов на рынке производства сварных труб большого диаметра утвердился процесс формовки трубной заготовки по схеме JSOE, разработанный фирмой SMS Meer [1-87]. Процесс включает на первой стадии подгибку кромок листовой заготовки на кромкогибочном прессе пошаговым способом одновременно с двух сторон. Формовка основной части профиля листовой заготовки осуществляется на трубоформовочном прессе (ТФП) пошаговым способом гибки участков заготовки от подогнутых кромок к

середине заготовки одновременно по всей длине заготовки и обеспечивает получение трубных заготовок незамкнутого О-профиля. Далее осуществляется сборка трубы с помощью газовой сварки наружного шва трубы и четырех дуговой сварки внутреннего и внешнего швов трубы. После сварки необходимые диаметр и поперечная округлость трубы достигаются с помощью технологической операции SMS Meer – экспандирования. Потом следуют процессы гидроиспытания трубы и нанесения изоляции на поверхности трубы.

Производство сварных прямошовных одношовных труб по схеме JCOE для магистральных нефтегазопроводов диаметром  $\geq 1220$  мм осуществляется в России на «Выксунском металлургическом заводе», «Ижорском трубном заводе» и «Челябинском трубопрокатном заводе», а также на трубных заводах Германии, Китая и Индии.

Дефект образования гофра продольной кромки трубной заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer, вредное влияние остаточных напряжений металла после ТФП SMS Meer на процесс экспандирования трубы, дефект «точка перегиба» при изгибе трубной заготовки на ТФП SMS Meer, дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы, дефект трубы раскатной пригар с риской, процессы правки стального листа на многороликовых листопрямильных машинах SMS Siemag и Fagor Arrasate для производства труб изучались в работах [4-7, 24-39, 61-67].

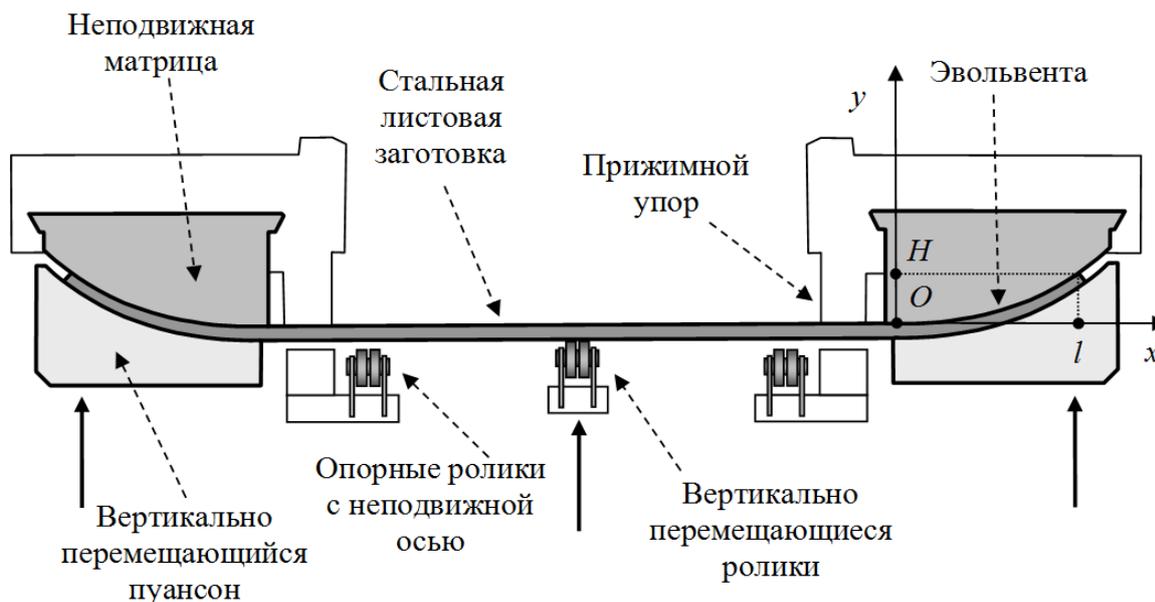


Рис. 1. Подгибка кромок стальной заготовки на КГП SMS Meer

**Математическая модель подгибки кромок листа.** Введем прямоугольную систему координат  $Oxy$ , начало которой расположено в точке контакта листовой заготовки с матрицей (рис. 1). Пусть  $H$  и  $l$  – высота подъема и «длина» кромки деформируемой части заготовки при формовке,  $H_1$  и  $l_1$  – после формовки (распружинивания).

Контактный профиль матрицы задан в кромкогибочном прессе SMS Meer с помощью уравнения эвольвенты окружности (рис. 2):

$$b(\varphi) = r \cos \varphi + r\varphi \sin \varphi, \quad a(\varphi) = r \sin \varphi - r\varphi \cos \varphi, \quad \frac{da(b)}{db} = \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\varphi$  – «угол» эвольвенты,  $r = \text{const}$ .

Длина дуги и радиус кривизны эвольвенты равны  $S(\varphi) = r\varphi^2/2$  и  $\rho_{\text{эв}}(\varphi) = r\varphi$ .

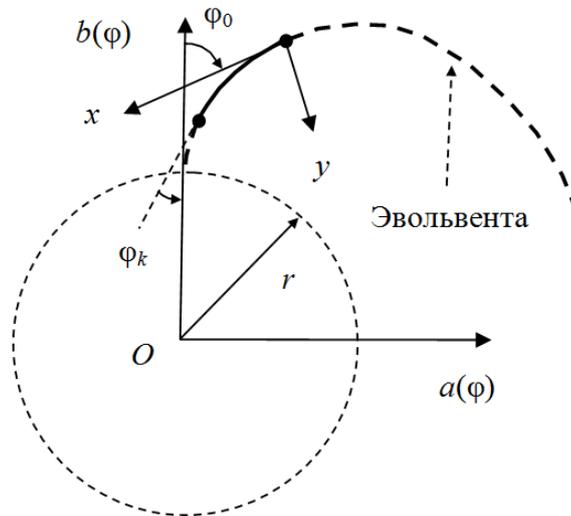


Рис. 2. Эвольвента и система координат для расчета рабочего профиля матрицы КГП SMS Meer

Обозначим через  $\varphi_0$  – угол, соответствующий началу эвольвентной поверхности матрицы, а через  $\varphi_k$  – угол, соответствующий концу этой поверхности. Тогда зависимость реальных координат  $x(\varphi)$  и  $y(\varphi)$  эвольвентной поверхности матрицы (верхней поверхности нераспружиненной заготовки) от координат  $a(\varphi)$  и  $b(\varphi)$  имеет вид

$$\begin{aligned} b_0 &= r \cos \varphi_0 + r\varphi_0 \sin \varphi_0, & a_0 &= r \sin \varphi_0 - r\varphi_0 \cos \varphi_0, & \rho_{\text{эв}}(\varphi) &= r\varphi, \\ x(\varphi) &= -(a(\varphi) - a_0) \sin \varphi_0 - (b(\varphi) - b_0) \cos \varphi_0, & x(\varphi_k) &= l, \\ y(\varphi) &= (a(\varphi) - a_0) \cos \varphi_0 - (b(\varphi) - b_0) \sin \varphi_0, & y(\varphi_k) &= H. \end{aligned}$$

Введем угол наклона профиля поверхности матрицы к горизонтали  $\alpha(\varphi) = \varphi_0 - \varphi$ ,  $\alpha(\varphi_k) = \alpha_k$ . Тогда  $dy(\varphi)/dx(\varphi) = \operatorname{tg} \alpha(\varphi)$ .

В табл. 1 приведены результаты расчета параметров эвольвентной поверхности матрицы при подгибке кромки стальной листовой заготовки для трубы диаметром  $D = 1420$  мм ( $r = 561,0$  мм,  $\varphi_0 = 88^\circ$ ,  $\varphi_k = 43^\circ$ ).

Таблица 1

Расчет профиля поверхности матрицы КГП SMS Meer

$x$ , мм	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	462,03
$y$ , мм	0	1,47	5,98	13,71	24,94	40,02	59,49	84,17	115,39	155,67	167,24
$\rho$ , мм	861,6	828,4	793,7	757,1	718,1	676,1	629,9	578,1	517,8	442,7	421,0
$S$ , мм	0	50,0	100,2	150,8	202,1	254,3	308,0	363,8	422,8	487,0	503,7
$\alpha_k$ , град	0	3,39	6,94	10,68	14,66	18,95	23,66	28,95	35,12	42,79	45,00

Радиус кривизны нейтральной плоскости стальной заготовки при формовке на КГП равен  $\rho = r\varphi + h/2$ . Сопротивление деформации стали  $\sigma_T^* = \mu_{\text{КГП}} \sigma_T$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести стали,  $\mu_{\text{КГП}} = \text{const} \approx 1$  – безразмерный

коэффициент, учитывающий скорость деформации заготовки. Отметим, что скорость вертикального перемещения пунсона на КГП может достигать 22 мм/с вверх и 50 мм/с вниз.

**Математическая модель распружинивания листа.** После деформации на КГП кромки стальной листовой заготовки распружиниваются. Для описания механических свойств металла будем использовать модель упругопластической среды с линейным упрочнением. Тогда остаточный радиус кривизны нейтральной плоскости заготовки после распружинивания  $\rho_0$  и коэффициент пружинения заготовки  $\beta$  равны

$$\rho_0 = \beta(\rho) \rho, \quad \beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2 \frac{\rho \sigma_T^*}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho \sigma_T^*}{hE}\right)},$$

где  $h$  и  $\rho$  – толщина и радиус кривизны нейтральной плоскости стальной листовой заготовки;  $E$  – модуль Юнга;  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – модули упрочнения при растяжении и сжатии;  $\sigma_T^*$  – сопротивление деформации стали.

Если  $\varphi \geq hE/[2(r + h/2)\sigma_T^*] = \varphi_{упр}$ , то следует положить  $\rho_0 = \infty$  (случай полного упругого распружинивания участка листовой заготовки до плоского состояния). Так как на КГП SMS Meer  $\varphi < \varphi_{упр}$ , то при формовке наблюдается только пластическая деформация заготовки.

Подгибка кромок листовой заготовки происходит одновременно и симметрично относительно центральной продольной оси листа, а величина  $\varphi_0$  всегда задана. Пусть  $\Delta L_{кгп}$  – длина подгибаемой кромки по эвольвенте с одной стороны заготовки. Тогда

$$\varphi_k = \frac{-\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 + 4\left(\varphi_0^2 + \frac{h}{r}\varphi_0 - 2\frac{\Delta L_{кгп}}{r}\right)}}{2} \approx \sqrt{\varphi_0^2 - 2\frac{\Delta L_{кгп}}{r}}, \quad \frac{h}{r} \ll 1.$$

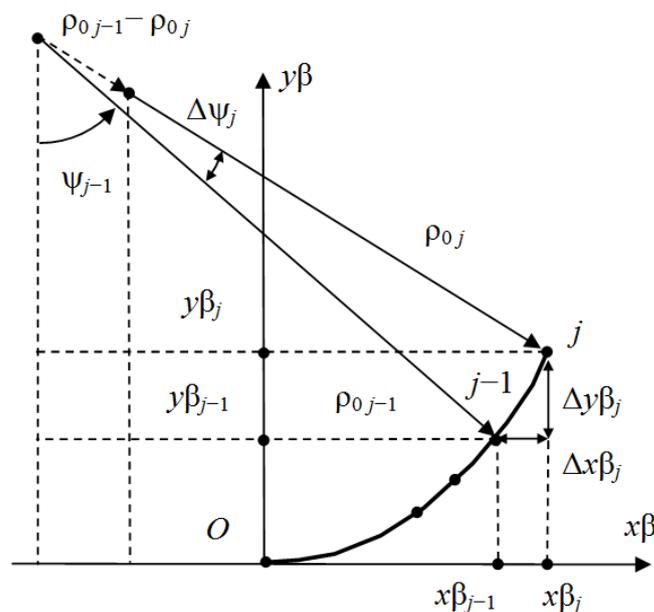


Рис. 3. Много радиусная схема расчета профиля нейтральной плоскости заготовки после распружинивания

Получить точное значение профиля нейтральной плоскости заготовки ( $x\beta$ ,  $y\beta$ ),  $H_1$  и  $l_1$  после распружинивания стальной листовой заготовки можно с помощью численной много радиусной схемы расчета Шинкина для кромкогибочного прессы (рис. 3):

$$j = 1 \dots N \quad (N = 1000), \quad \varphi_j = \varphi_0 - \frac{(\varphi_0 - \varphi_k)j}{N}, \quad \rho_{0j} = \rho_0(\varphi_j),$$

$$\Delta S_0 = 0, \quad \Delta S_j = \frac{r\varphi_j^2 + h\varphi_j}{2} - \frac{r\varphi_{j+1}^2 + h\varphi_{j+1}}{2},$$

$$\psi_0 = 0, \quad \Delta\psi_j = \frac{\Delta S_j}{\rho_{0j}}, \quad \psi_j = \Delta\psi_0 + \dots + \Delta\psi_j,$$

$$y\beta_0 = 0, \quad y\beta_j = y\beta_{j-1} + \rho_{0j-1}(\cos\psi_{j-1} - \cos\psi_j), \quad y\beta_N + \frac{h}{2}(\cos\psi_N - 1) = H_1,$$

$$x\beta_0 = 0, \quad x\beta_j = x\beta_{j-1} + \rho_{0j-1}(\sin\psi_j - \sin\psi_{j-1}), \quad x\beta_N - \frac{h}{2}\sin\psi_N = l_1.$$

**Результаты расчетов.** Для трубы диаметром  $D = 1420$  мм результаты расчета высоты кромки стальной заготовки ( $r = 561,0$  мм,  $\varphi_0 = 88^\circ$ ,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  МПа) после распружинивания приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Высота кромки заготовки после распружинивания**

Марка стали	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$h$ , мм	$\Delta L_{кгп}$ , мм	$H_1 + h$ , мм	
				Нормативная	Расчетная
14ХГС	350	25	430	120±5	120,03
16Г2САФ	420	24	442	120±5	119,93
16Г2САФ	460	23	450	120±5	119,27

**Заключение.** Построена математическая модель процесса подгибки кромок стального листа на кромкогибочном прессы при производстве сварных толстостенных одношовных прямошовных стальных труб большого диаметра по схеме JSOE для магистральных газонефтепроводов. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических и машиностроительных заводах по производству труб большого диаметра из широкого стального листа [1–87].

#### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. 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.
3. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
4. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
5. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.

6. Шинкин В.Н. Соппротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
7. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
8. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
9. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
10. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
11. 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.
12. 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.
13. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
14. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
15. 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.
16. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
17. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
18. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
19. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
20. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
21. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
22. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «доньшками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
23. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
24. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
25. 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.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.

27. 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.
28. 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.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
30. 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.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидротиспания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
32. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
39. 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.
40. 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.
41. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.

46. 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.

47. 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.

48. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.

49. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироlikовой листопрямляющей машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.

50. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатироlikовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.

51. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.

52. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семирроlikовой листопрямляющей машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.

53. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.

54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.

55. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.

56. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.

57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмирроlikовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.

58. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмирроlikовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.

59. Шинкин В.Н. Четырехроlikовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.

60. Шинкин В.Н. Четырехроlikовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.

61. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятироlikовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.

62. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироlikовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.

63. 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.

64. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатиролковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
65. 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.
66. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатиролковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
67. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
68. 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.
69. 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.
70. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.
71. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.
72. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.
73. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
74. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.
75. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семиролковой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.
76. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.
77. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
78. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
79. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
80. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмиролковой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.
81. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмиролковой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.
82. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехролковой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.
83. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров четырехролковой машины при предварительной правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 146–154.
84. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа при правке на девятиролковой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 128–138.

85. 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.

86. 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.

87. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

## **ПОДГИБ СТАЛЬНОГО ЛИСТА НА КРОМКОГИБОЧНОМ ПРЕССЕ ПО ЭВОЛЬВЕНТЕ. ЧАСТЬ 2. КРИТЕРИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГОФРА**

*Шинкин В.Н.*

профессор кафедры физики, доктор физико-математических наук,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
Россия, г. Москва

Получен математический критерий возникновения гофра кромки стального широкого листа на кромкогибочном прессе фирмы SMS Meer при производстве сварных толстостенных одношовных прямошовных труб большого диаметра по схеме JSOE для магистральных газонефтепроводов.

*Ключевые слова:* труба большого диаметра, стальная листовая заготовка, кромкогибочный пресс.

**Введение.** На рынке производства стальных сварных труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки по схеме JSOE, разработанный фирмой SMS Meer [1–87].

Производство сварных прямошовных одношовных труб по схеме JSOE для магистральных нефтегазопроводов диаметром  $\geq 1220$  мм осуществляется в России на «Выксунском металлургическом заводе», «Ижорском трубном заводе» и «Челябинском трубопрокатном заводе», а также на трубных заводах Германии, Китая и Индии.

На первой стадии процесса осуществляется подгибка кромок листовой заготовки на кромкогибочном прессе (КГП) пошаговым способом одновременно с двух сторон [1, 2, 4, 6, 7], показанная на рис. 1, где 1 – листовая заготовка, 2 – пуансон, 3 – матрица, 4 – прижимной упор, 5 – технологическая планка, 6 – направляющий ролик.

Затем идет формовка основной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе (ТФП) пошаговым способом от подогнутых кромок к середине заготовки одновременно по всей длине заготовки [1, 2, 4, 6, 7]. Далее осуществляется сборка трубы с помощью сварки продольного шва трубы. После сварки необходимые диаметр и поперечная округлость трубы достигаются с помощью экспандирования трубы [1, 2, 4, 6, 7]. Затем следуют процессы гидротестирования трубы и нанесения изоляции на поверхности трубы.

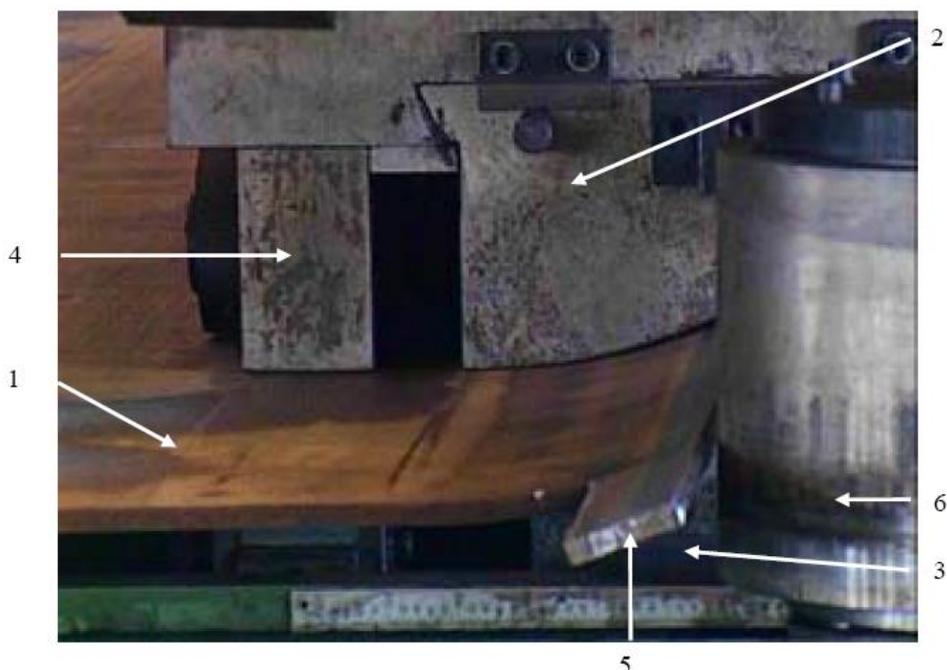


Рис. 1. Деформация листовой заготовки на КГП

Дефект образования гофра продольной кромки трубной заготовки на КГП SMS Meer, вредное влияние остаточных напряжений металла после ТФП SMS Meer на процесс экспандирования трубы, дефект «точка перегиба» при изгибе трубной заготовки на ТФП SMS Meer, дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы, дефект трубы «раскатной пригар с риской», процессы правки стального листа на многороликовых листопрямительных машинах SMS Siemag и Fagor Arrasate для производства труб большого диаметра изучались в работах [4, 6, 7].

При формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе в продольном направлении листа из-за разности высот листа в точках его контакта с пуансоном и рольгангом возникают остаточные пластические деформации, которые могут вызвать появление дефекта в виде гофра на участке перехода между шагами.

**Математическая модель образования гофра.** Найдем форму листовой заготовки в продольном направлении в момент ее формовки на КГП (рис. 2).

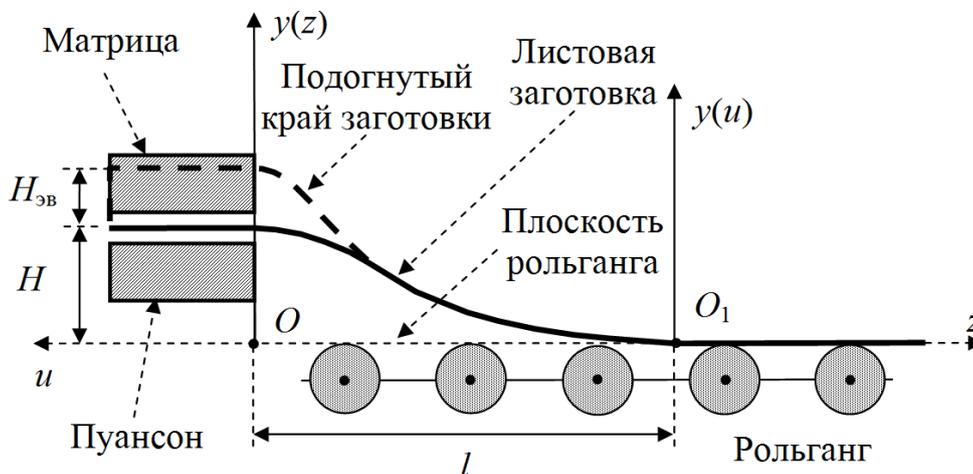


Рис. 2. Форма продольной кромки листовой заготовки на КГП

Пусть  $H$  и  $H_{\text{эв}}$  – продольный перепад высот и высота подгибки боковой кромки листовой заготовки при формовке на КГП,  $l$  – неизвестная длина отрыва листа от плоскости рольганга,  $E$  – модуль Юнга металла,  $b$  и  $h$  – ширина и толщина листа,  $J_x$  – момент инерции поперечного сечения листа ( $J_x = bh^3/12$ ),  $\gamma$  – удельный вес стали,  $q = \gamma bh$  – погонный вес листа в продольном направлении.

Пусть  $O_1$  – точка отрыва листа от плоскости рольганга в декартовой прямоугольной системе координат  $O_1yu$  и  $Ouz$ :  $u = l - z$ .

Дифференциальное уравнение продольной нейтральной линии листа имеет вид

$$EJ_x \frac{d^4 y(u)}{du^4} = -q,$$

После интегрирования по  $u$  с учетом граничных условий

$$y(0) = 0, \quad y(l) = H, \quad \left. \frac{dy(u)}{du} \right|_{u=0} = 0, \quad \left. \frac{dy(u)}{du} \right|_{u=l} = 0,$$

получаем

$$\begin{aligned} EJ_x \frac{d^2 y(u)}{du^2} &= \left( -\frac{ql}{12} + \frac{6EJ_x H}{l^3} \right) + \left( \frac{ql}{2} + \frac{12EJ_x H}{l^3} \right) u - \frac{qu^2}{2} = M_x(u), \\ EJ_x \frac{dy(u)}{du} &= \left( -\frac{ql}{12} + \frac{6EJ_x H}{l^3} \right) u + \left( \frac{ql}{2} + \frac{12EJ_x H}{l^3} \right) \frac{u^2}{2} - \frac{qu^3}{6}, \\ EJ_x y(u) &= \left( -\frac{ql}{12} + \frac{6EJ_x H}{l^3} \right) \frac{u^2}{2} + \left( \frac{ql}{2} + \frac{12EJ_x H}{l^3} \right) \frac{u^3}{6} - \frac{qu^4}{24}, \end{aligned}$$

где  $M_x(u)$  – изгибающий момент листовой заготовки.

Край недеформируемой части листа, касающийся плоскости рольганга, является прямой линией, поэтому изгибающий момент в точке  $O_1$  отрыва листа от плоскости рольганга равен нулю:

$$M_x(0) = \left( -\frac{ql}{12} + \frac{6EJ_x H}{l^3} \right) = 0,$$

откуда находим длину  $l$  отрыва листа от плоскости рольганга:

$$l = \sqrt[4]{\frac{72EJ_x H}{q}}.$$

Учесть эффект подгибки кромок листа в поперечном направлении при формовке можно с помощью введения постоянного безразмерного коэффициента приведенной длины  $\mu$ , определяемого экспериментальным путем.

Переходя от  $z$  к  $u$  и подставляя  $l$  и  $\mu$ , получаем

$$\begin{aligned} l &= \frac{1}{\mu} \sqrt[4]{\frac{6Eh^2 H}{\gamma}}, \quad y(z) = H \left( 1 - \mu z^4 \sqrt[4]{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right)^3 \left( 1 + 3\mu z^4 \sqrt[4]{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right), \\ \frac{dy(z)}{dz} &= -12H\mu^2 z \sqrt[4]{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \left( 1 - \mu z^4 \sqrt[4]{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right)^2, \end{aligned}$$

$$\frac{d^2 y(z)}{dz^2} = -12H\mu^2 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2H}} \left(1 - \mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2H}}\right) \left(1 - 3\mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2H}}\right).$$

Радиус кривизны листа в продольном направлении равен

$$\rho(z) = \frac{\left(1 + \left(\frac{dy(z)}{dz}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 y(z)}{dz^2}}.$$

Сопротивление деформации стали  $\sigma_T^* = \mu_{\text{КГП}} \sigma_T$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести стали,  $\mu_{\text{КГП}} = \text{const} \approx 1$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость деформации заготовки.

**Критерий образования гофра.** Остаточные продольные пластические деформации, приводящие к появлению гофра, будут возникать, если нормальные напряжения в продольном направлении листа достигнут предела текучести  $\sigma_T$ :  $\rho \leq \rho_{\text{упр}} = (H_{\text{эв}} + h/2)E/\sigma_T^*$ .

Поэтому критерий возникновения гофра в продольном направлении листовой заготовки на КГП имеет вид

$$|\rho_{\text{min}}| = |\rho(0)| = \left(12H\mu^2 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2H}}\right)^{-1} \leq \rho_{\text{упр}},$$

$$H \geq \frac{\sigma_T^{*2} h^2}{24\gamma\mu^4 (H_{\text{эв}} + h/2)^2 E}.$$

**Заключение.** Построена математическая модель образования гофра кромок стального листа на кромкогибочном прессе при производстве сварных толстостенных одношовных прямошовных стальных труб большого диаметра по схеме JSOE для магистральных газонефтепроводов.

Результаты исследований могут быть использованы на металлургических и машиностроительных заводах по производству труб большого диаметра из широкого стального листа [1-87].

#### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. 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.
3. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
4. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
5. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
6. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.

7. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
8. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
9. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
10. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
11. 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.
12. Шинкин В.Н. Четырехроликковый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
13. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
14. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
15. 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.
16. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
17. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
18. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
19. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
20. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
21. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
22. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «доньшками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
23. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
24. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
25. 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.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
27. 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.

28. 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.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
30. 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.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидротиспания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
32. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
39. 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.
40. 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.
41. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной за-

- готовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
47. 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.
48. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
49. 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.
50. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
51. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
52. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
53. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
55. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
56. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
58. 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.
59. 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.
60. 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.
61. 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.
62. 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.
63. 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.

64. 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.

65. 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.

66. 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.

67. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.

68. 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.

69. 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.

70. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.

71. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.

72. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.

73. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.

74. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.

75. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.

76. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.

77. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.

78. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.

79. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.

80. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.

81. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.

82. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.

83. 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.

84. 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.

85. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах девятироликовой листопрямильной машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 138–146.

86. 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.

87. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.

Подписано в печать 11.08.2016. Гарнитура Times New Roman.

Формат 60×84/16. Усл. п. л. 8,37. Тираж 100 экз. Заказ 209

ООО «ЭПИЦЕНТР»

308010, г. Белгород, ул. Б.Хмельницкого, 135, офис 1

ИП Ткачева Е.П., 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а