

АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ СБОРНИК

ПО МАТЕРИАЛАМ XIX МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
Г. БЕЛГОРОД, 31 ОКТЯБРЯ 2016 Г.



2016 № 10-2  
ISSN 2413-0869



АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
(АПНИ)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ  
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

**2016 • № 10, часть 2**

**Периодический научный сборник**

*по материалам  
XIX Международной научно-практической конференции  
г. Белгород, 31 октября 2016 г.*

**ISSN 2413-0869**

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

2016 • № 10-2

### **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 XIX Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий» (г. Белгород, 31 октября 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)

*Датий Алексей Васильевич*, главный научный сотрудник Московского института государственного управления и права, д.м.н.

*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>Авдеев П.И., Пантелеев М.С.</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА 1986BE1T .....	5
<i>Авдеева В.Н., Молчанов А.Г.</i> РАСЧЁТ И ВЫБОР СВЕТИЛЬНИКОВ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПТИЧНИКА .....	7
<i>Агаммедова С.А.</i> ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ .....	10
<i>Алекина Е.В., Яговкин Г.Н.</i> ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ.....	13
<i>Александров В.И., Петелин А.А., Юдин В.С.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ .....	16
<i>Архиреев А.Г., Буслаев С.В., Нахлесткин А.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИЛЬЗ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ .....	18
<i>Димитрова Л.А.</i> ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КРИТЕРИЯ «УЛУЧШЕНИЯ, ИННОВАЦИИ И ОБУЧЕНИЕ» ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ .....	22
<i>Каримов Р.Д., Вавилов В.Е., Горбунов А.С., Ямалов И.И.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ .....	25
<i>Кармишин В.С., Савельев Н.Д., Успанов М.Ж.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СОЧЕТАНИЯ ДВУХ НЕГАТИВНЫХ, ПОЗИТИВНОЙ И ПОЗИТИВНО-КОНТУРНОЙ СТРУКТУР ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ .....	27
<i>Кармишин В.С., Савельев Н.Д., Успанов М.Ж.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СОЧЕТАНИЯ ДВУХ НЕГАТИВНЫХ, НЕГАТИВНО-КОНТУРНОЙ И ПОЗИТИВНОЙ СТРУКТУР ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ .....	29
<i>Кахриманова А.С., Щербатов И.А.</i> ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КЛАСТЕРА.....	31
<i>Корчикова А.Е.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДОВ ПОСТРОЕННОГО НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ LT3799 .....	34
<i>Ксендзов В.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОЙ СИСТЕМЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ .....	37
<i>Литвин Ю.В.</i> ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	42
<i>Пантелеев М.С., Авдеев П.И.</i> БЕЗОПАСНОСТЬ В ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩАХ.....	45
<i>Полушкин Д.П., Сторожева Е.В.</i> ИТ-РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОНЛАЙН-ПРОДАЖ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГРУППЫ Б.....	47
<i>Попов И.Л.</i> МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ .....	50
<i>Рахчеев В.Г., Тропанова Н.Г.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ.....	53

<b>Савельев Н.Д., Успанов М.Ж., Кармишин В.С.</b> СТРУКТУРНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ИМЕЮЩЕГО ДВЕ ПОЗИТИВНО-КОНТУРНЫЕ, ВЕРШИННУЮ И ПОЗИТИВНУЮ СВЯЗИ.....	56
<b>Сиделев А.А.</b> ИТ-ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ.....	58
<b>Успанов М.Ж., Кармишин В.С., Савельев Н.Д.</b> ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОПРОНИКНОВЕНИЯ ДВУХ ПОЗИТИВНЫХ И ДВУХ ВЕРШИННЫХ СТРУКТУР НА ГРАНИЦЕ СЕГМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ .....	60
<b>Хоркин В.Н.</b> ЗАПАС ПРОЧНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ С ЗАГЛУШКАМИ ПРИ ВЫСОКОМ ВНУТРЕННЕМ ДАВЛЕНИИ .....	62
<b>Хоркин В.Н.</b> К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ДЕФЕКТА ВКАТАННЫЙ МЕТАЛЛ НА ПРОЧНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ДАВЛЕНИИ .....	73
<b>Хоркин В.Н.</b> К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПРУЖИНЕНИЯ СТАЛЬНОГО БРУСА И ЛИСТА ПРИ ЛИНЕЙНОМ УПРОЧНЕНИИ МЕТАЛЛА .....	81
<b>Хоркин В.Н.</b> К ВОПРОСУ О ПРОЧНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ ДЕФЕКТЕ НАРУЖНОЙ ЧАСТИ СВАРНОГО ШВА .....	92
<b>Хоркин В.Н.</b> К ВОПРОСУ О СКЛАДКЕ БОКОВОГО ТОРЦА СТАЛЬНОГО ЛИСТА ПРИ ФОРМОВКЕ НА КРОМКОГИБОЧНОМ ПРЕССЕ.....	101
<b>Хоркин В.Н.</b> НАДЕЖНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ ДЕФЕКТЕ ЦАРАПИНА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ .....	109
<b>Хоркин В.Н.</b> РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИБОЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СТАЛЬНОГО ЛИСТА .....	118
<b>Хоркин В.Н.</b> ФОРМОВКА ПОЛУСОГНУТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ НА ПРЕССЕ.....	127
<b>Челядина А.Л., Водопьянов Е.А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОДУВКИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРЕ.....	135
<b>Чулюков В.А.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ORACLE В ПРЕПОДАВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДИСЦИПЛИН .....	138
<b>Шустров Ф.А., Иванов Д.А., Татарников А.П.</b> СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИВОШИПНО-ШАТУННЫХ И СВОБОДНОПОРШНЕВЫХ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	140
<b>Яцун С.М., Тарасов О.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕРТИКАЛИЗАЦИИ ПАЦИЕНТА .....	144

## СЕКЦИЯ «ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ»

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА 1986BE1T

*Авдеев П.И., Пантелеев М.С.*

студенты 2 курса магистратуры, кафедра «Прикладная и бизнес-информатика», ПКИТ (ф) ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Россия, г. Пенза

В данной научной статье рассматривается система управления беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) на базе микроконтроллера 1986BE1T. Представлена блок-схема системы управления БПЛА. Описаны все компоненты данной системы управления. Представлены основные характеристики отечественного микроконтроллера 1986BE1T.

*Ключевые слова:* система управления, полетный контроллер, автопилот, микроконтроллер 1986BE1T, БПЛА.

Беспилотный летательный аппарат – это летательный аппарат без экипажа на борту, в просторечии иногда используется название «беспилотник» или «дрон» [2]. Данная система управления проектируется для БПЛА, в задачи которого входит патрулирование местности и аэрофотовидеосъемка. Для данной задачи был выбран отечественный микроконтроллер 1986BE1T фирмы «Миландр».

Система управления имеет два режима: ручной и автопилота. В данной статье рассматривается только управление от автопилота. На рисунке приведена блок-схема. Рассмотрим характеристики и назначение отдельно каждого элемента схемы.

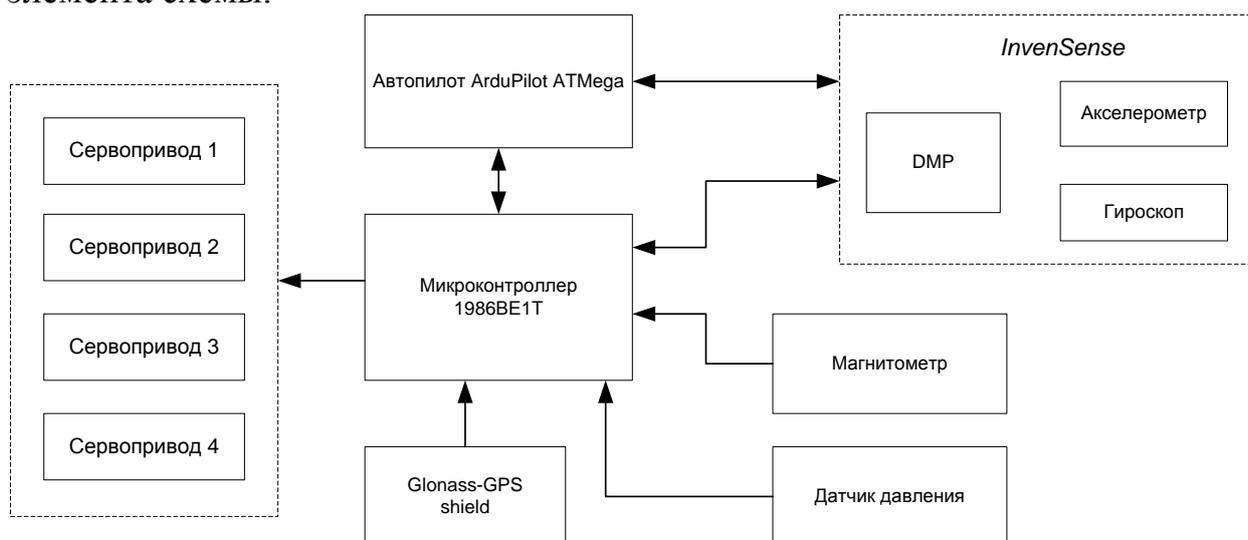


Рис. Блок-схема системы управления БПЛА

Модуль автопилота ArduPilot ATmega (производитель SparkFun Electronics) является полностью программируемым автопилотом, к которому можно подключить один из навигационных модулей (ГЛОНАСС, GPS и т.д.)

и инфракрасные датчики препятствий XY и Z. В зависимости от загруженного программного обеспечения можно управлять самолетами, квадрокоптерами, вертолетами.

Особенности:

– 16 МГц ATmega328 процессор.

– Контроллер предназначен для автономного управления ЛА.

– В комплекте 6-контактный разъем для подключения навигационного модуля.

– Имеет шесть аналоговых входов (с АЦП на каждом) и шесть цифровых входов / выходов для дополнительных датчиков.

Размеры данного модуля автопилота: 30×47 мм.

Glomass-GPS shield – для определения географических координат, а также времени, измерения расстояния и скорости движения. Плата базируется на 32-канальном навигационном модуле, позволяющем принимать сигналы с использованием всех глобальных навигационных систем: GPS, ГЛОНАСС, Galileo и QZSS. Запитывать плату можно от 5 или от 3,3 В. [1, 5].

Наиболее важным является МЭМС (микро электро-механическая система, англ. MEMS – Micro Electro-Mechanical System) инерциально-измерительная система (ИИС), которая включает в себя 3-осевой акселерометр и 3-осевой гироскоп в единой интегральной схеме (ИС), а также 3-осевой магнитометр на отдельной интегральной схеме. Следует отметить, что данная система управления является одной из первых в мире, в которой применен сенсор MPU6050 от компании InvenSense с использованием технологии DMP (Digital Motion Processing), что подразумевает обработку угловых скоростей и ускорений с применением фильтрации Калмана непосредственно в самом процессоре датчика и отправку информации об ориентации в пространстве в цифровом формате в виде кватернионов или углов Эйлера с частотой обновления 200 Гц.

Внешний магнитометр используется для компенсации увода угла рысканья, измеряемого осью Z гироскопа, так как, находясь в положении с близкими к нулю креном и тангажом, данная величина не может быть компенсирована акселерометром.

Для определения высоты служит цифровой МЭМС-датчик давления. Согласно заявленным характеристикам точность измерения используемого датчика давления (Bosch BMP085), который на данный момент является одним из лучших в своем классе, составляет 0.03 гПа, что соответствует погрешности в 0.25 м.

Сервоприводами называют любые следящие приводы, т. е. такие, на которые подается задание (обычно – желаемый угол поворота), а привод самостоятельно обрабатывает это задание – поворачивается на заданный угол, и фиксируется в нем [3, 6].

Основным компонентом представленной схемы является микроконтроллер 1986VE1T (производитель «Миландр»). Он построен на базе 32-битного, высокопроизводительного, процессорного RISC ядра. Микроконтроллер работает на тактовой частоте до 144 МГц и содержит 128 Кбайт

флэш-памяти программ и 48 Кбайт ОЗУ. Рабочая температура:  $-60...+125$  °С. Для работы микроконтроллера достаточно одного внешнего напряжения питания в диапазоне от 3,0 до 3,6 В. Также в микроконтроллере реализован батарейный домен, работающий от внешней батареи, который предназначен для обеспечения функций часов реального времени и сохранения некоторого объёма данных при отсутствии основного питания [4].

Использование готовых полетных контроллеров позволяет в кратчайшие сроки создавать прототипы систем управления, проводить отработку алгоритмов и летные испытания. Предложенные подходы могут быть адаптированы для аппаратов традиционной схемы.

#### Список литературы

1. «ArduPilot Mega 2.6 – беспилотная система» [Электронный ресурс]. – <http://www.ardupilot-mega.ru>. – (дата обращения 19.10.2016).
2. Беспилотная авиация [Электронный ресурс]. – <http://www.uav.ru>. – (дата обращения 19.10.2016).
3. MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions Revision 3.2, InvenSense. URL: [www.invensense.com](http://www.invensense.com) (дата обращения: 23.10.2016).
4. Отечественный микроконтроллер 1986BE1T [Электронный ресурс]. [http://www.milandr.ru/uploads/doc\\_img/other/publications/2012.07\\_\(N\\_07\)\\_Novvuy%20otekhestvennuy%20mikrokontroller%201986BE1T\\_KIT.pdf](http://www.milandr.ru/uploads/doc_img/other/publications/2012.07_(N_07)_Novvuy%20otekhestvennuy%20mikrokontroller%201986BE1T_KIT.pdf) (дата обращения: 21.10.2016)
5. Shilov K., Lazurin G. MAV Autopilot For Commercial and Research Braunschweig. – Germany. – 2012.
6. Seeger J., Lim M. and Nasiri S. Development of Hight-Perfomance, High-Voulume Consumer MEMS Gyroscopes, InvenSense, <http://www.invensense.com>. – (дата обращения: 22.10.2016)

## РАСЧЁТ И ВЫБОР СВЕТИЛЬНИКОВ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПТИЧНИКА

*Авдеева В.Н.*

доцент кафедры применения электрической энергии в сельском хозяйстве,  
канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный  
университет, Россия, г. Ставрополь

*Молчанов А.Г.*

доцент кафедры применения электрической энергии в сельском хозяйстве,  
канд. с.-х. наук, ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный  
университет, Россия, г. Ставрополь

В статье предложена оригинальная методика выбора типа светильников осветительной установки птичника. В качестве основного критерия выбора светильников предлагается рассматривать возможность создания с их помощью равномерного освещения по высоте клеток всех ярусов, что позволит значительно повысить продуктивность птицы.

*Ключевые слова:* осветительная установка, птичник, освещённость, светильник, продуктивность.

В настоящее время Россия входит в пятерку крупнейших стран в мире по производству мяса птицы и в шестерку – производителей яиц. Птицевод-

ство в России является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства. Ведение птицеводства на промышленной основе дает возможность получать высококачественную продукцию в больших объемах. В промышленном птицеводстве при удовлетворительном кормлении, поении и уходе за птицей одним из важных условий интенсификации производства является обеспечение оптимального контролируемого микроклимата и, прежде всего, условий освещения. Однако реализация на практике этих условий требует решения ряда инженерно-технических задач, учитывающих специфику содержания птицы. Например, в помещениях для содержания кур-несушек, которые содержатся в многоярусных клеточных батареях, проблематично создание равномерного освещения по высоте клеток. Как правило, в нижних ярусах освещённость значительно ниже, чем в верхних ярусах. При освещённости менее 30 лк, куры становятся вялыми и их продуктивность резко снижается [1]. Попытка повысить освещённость нижних ярусов до нормированной за счёт увеличения мощности источника света привела, естественно, к значительному увеличению освещённости верхних ярусов, что также нежелательно [2].

В данной статье предложена методики выбора типа светильников осветительной установки птичника. В качестве основного критерия выбора светильников предлагается рассматривать возможность создания с их помощью одинаковой освещённости всех ярусов. Особенность предлагаемой методики заключается в том, что перед началом светотехнического расчёта освещения производится подбор кривой силы света (КСС) светильника по вышеуказанному критерию. На разрезе помещения намечаются контрольные точки на ярусах клеточных батарей, в которых определяется условная освещённость ( $e$ , лк) из выражения [3]:

$$e = \frac{I_{\gamma 1000}}{2h_i k_3} \cos^2 \gamma \left( \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right), \quad (1)$$

где  $I_{\gamma 1000}$  – сила света светильника в направлении угла  $\gamma$ , кд;

$h_i$  – расчётная высота светильника для каждого яруса, м;

$k_3$  – коэффициент запаса;

$\gamma$  – угол в вертикальной плоскости между лучом света в контрольную точку и нормалью к горизонтальной поверхности с контрольной точкой, град.;

$\alpha$  – угол, под которым видна светящая линия из контрольной точки, град.

Для бесконечно длинной линии ( $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ) выражение (1) примет вид:

$$e = \frac{\pi}{4} \frac{I_{\gamma 1000}}{h_i k_3} \cos^2 \gamma,$$

освещённость непосредственно под линией ( $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ,  $\gamma = 0$ ) определяется по

формуле:  $e = \frac{\pi I_{\gamma 1000}}{4h_i}$ .

Значения угловых величин, входящих в выражение (1), определяется из выражений  $\alpha = \arctg \frac{L}{2\sqrt{h_i^2 + p_i^2}}$ , (2)

$$\gamma = \arctg \frac{p_i}{h_i}, \quad (3)$$

где  $L$  – длина светящей линии, м;

$p_i$  – расстояние между проекцией светильника на горизонтальную плоскость с контрольной точкой и этой контрольной точкой, м.

Значения линейных величин  $L$ ,  $h$ ,  $p$  определяются по проекту (типовому) птичника. Сила света  $I_\gamma$  в (1) для различных типов КСС в направлении угла  $\gamma$  описывается аналитическими выражениями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Условная сила света светильников с типовыми КСС

Принятый номер КСС	Тип КСС	Сила света $I_\gamma$ , кд
1	М	159,2
2	Д1	$212,2 \cos 0,79\gamma$
3	Д2	$283,0 \cos 1,04\gamma$
4	Г1	$377,3 \cos 1,11\gamma$
5	Г2	$503,0 \cos 1,29\gamma$
6	Г3	$670,7 \cos 1,51\gamma$
7	Г4	$894,2 \cos 1,76\gamma$
8	К1	$1192,0 \cos 2,04\gamma$
9	К2	$1583,0 \cos 2,37\gamma$
10	К3	$2120,0 \cos 2,75\gamma$
11	Л	$154,8 \left[ \frac{\cos \gamma}{\cos(70^\circ \sin^{1,2} 1,66\gamma)} \right]$
12	ЛШ	$119,6 \left[ \frac{\cos \gamma}{\cos(78,5^\circ \sin^{1,4} 1,39\gamma)} \right]$
13	Ш	$78,3 \left[ \frac{\cos \gamma}{\cos(84,4^\circ \sin^{1,5} 1,2\gamma)} \right]$

Условная освещенность для каждого яруса определялась по выражению (1) с использованием среды Microsoft Visual Basic версии 6.0. Затем вычисляли среднюю освещенность ( $e_{\text{ср}}$ , лк) для каждого  $i$ -го типа КСС и относительное отклонение освещенности ( $\Delta e_i$ ). Из четырёх значений относительных отклонений для 13 типов КСС выбирается наибольшее и обозначается соответственно  $\Delta e_1 \dots \Delta e_{13}$ . Эти величины сравниваются и из них выбирается наименьшее. Значения  $h$  и  $p$  в выражениях (2) и (3) задаются дискретно с шагом 0,1 м:  $h$  – в пределах 0,4...3,0 м,  $p$  – в пределах 0,4...1,0 м.

Некоторые результаты выбора типа КСС светильника с определёнными  $h$  и  $p$  представлены в таблице 2.

Таким образом, вводя в программу для вычислений данные проекта (типового) птицеводческого помещения  $h$  и  $p$  путём перебора 13 типовых

КСС, выбирают светильник с такой КСС, которая обеспечивала бы освещённость с минимально возможными отклонениями по ярусам. На величину этого отклонения указывает коэффициент К (табл. 2). Определение типа, мощности лампы и фактической освещённости кормушек производится по традиционной методике.

Таблица 2

**Условная освещённость кормушек**

h, м	p, м	№ КСС	e <sub>1</sub> , лк	e <sub>2</sub> , лк	e <sub>3</sub> , лк	e <sub>4</sub> , лк	e <sub>ср.</sub> , лк	К
0,4	0,4	5	401,120	375,723	240,819	174,308	297,992	0,415
0,4	0,5	4	241,941	268,084	177,338	129,527	204,222	0,366
0,4	0,6	3	137,042	188,301	129,766	95,930	137,760	0,367
0,4	0,7	2	157,117	146,401	98,431	72,336	118,571	0,390
0,4	0,8	2	127,636	137,933	96,117	71,444	108,283	0,340
0,4	0,9	1	79,290	97,214	70,262	52,872	74,911	0,298
0,4	1,0	1	66,309	90,975	68,293	52,072	69,412	0,311
0,8	0,4	5	501,976	309,027	209,164	156,742	294,227	0,706
0,8	0,5	5	410,306	294,495	204,910	154,985	266,174	0,541
0,8	0,6	5	327,960	278,069	199,883	152,876	239,697	0,368
0,8	0,7	5	258,082	260,348	194,175	150,439	215,761	0,303
0,8	0,8	5	200,956	241,896	187,884	147,699	194,609	0,243
0,8	0,9	4	148,918	176,367	138,864	109,835	143,495	0,235
0,8	1,0	3	99,448	125,437	101,489	81,162	101,884	0,231

#### Список литературы

1. Сергеев В. А. и др. Выращивание и содержание племенной и промышленной птицы. – М.: Агропромиздат, 1987. 272 с.
2. Молчанов А. Г., Авдеева В. Н. Расчёт осветительной установки птичника // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сб. науч. тр. по материалам 75 науч.-практ. конф. / СтГАУ. Ставрополь, 2011. С. 187-190.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.

## ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

*Агаммедова С.А.*

доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение»,  
д-р философии по технике, доцент, Азербайджанский государственный  
университет нефти и промышленности, Азербайджан, г. Баку

На основе проведенного обоснования количественных показателей надежности произведена оценка наработки до отказа предложной конструкции уплотнительного устройства. Также дано обоснование и произведен выбор количественных показателей для оценки надежности уплотнительных устройств.

*Ключевые слова:* надежность, монтаж, транспортировка, безотказность, долговечность, ресурс.

Термины, количественные показатели и основные понятия в области надежности, применяемые в науке и технике, регламентируются ГОСТ

27.002. Наряду с этим в республике термины и показатели в данной области устанавливаются руководящим документом РД 26-16-45-97 [2]. В соответствии с этими источниками «надежность» – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения, монтажа и транспортирования.

Большинство показателей надежности связаны с оценкой вероятности определенных событий, обусловленных свойствами рассматриваемых объектов, в данном случае уплотнительных устройств.

Объект может находиться в исправном или неисправном, в работоспособном или неработоспособном состоянии. Работоспособный объект в отличие от исправного должен удовлетворять требованиям нормативно-технической документации, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению.

Переход объекта из одного состояния в другое обычно происходит вследствие отказа. Отказом называют событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. признаки (критерии) отказов устанавливаются соответствующей технической документацией.

В частности, в процессе эксплуатации большинства уплотнительных устройств происходит релаксация эластичных уплотняющих элементов (постепенное уменьшение напряжений при практически постоянной деформации), ухудшение их упругих свойств и ухудшение физико-химических свойств под действием среды и температуры.

Состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно (либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно) называется предельным состоянием. Для уплотнительных устройств предельным состоянием является нарушение герметичности, которое регулированием устранить невозможно.

Достижение необходимого уровня надежности технических объектов требует комплексного решения многих вопросов и в том числе обеспечения важных свойств изделий – безотказности и долговечности [1].

Основным показателем, характеризующим безотказность, является вероятность безотказной работы объекта  $P(t)$ , под которой понимается вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Статистически вероятность безотказной работы определяется отношением числа исправных работающих изделий к общему числу изделий, находящихся под наблюдением.

$$P(t) = \frac{N(t) - n(t)}{N(0)}, \quad (1)$$

где  $N(0)$  – число исправных изделий в момент времени  $t=0$ ;

$N(t)$  – число исправных изделий на момент времени  $t$ ;

$n(t)$  – число отказов изделия за рассматриваемый промежуток времени  $t$ .

Для невосстанавливаемых объектов, подобных уплотнительным устройствам, одной из важных характеристик безотказности является средняя наработка до отказа  $\bar{T}_1$  - математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Средняя наработка до отказа статистически определяется отношением суммы наработки объектов до отказа к количеству наблюдаемых объектов, если они все отказали за время испытаний.

$$\bar{T}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (2)$$

где  $N$  – количество наблюдаемых (испытываемых) объектов;

$t_i$  – наработка до отказа  $i$ -го объекта.

Для оценки долговечности объектов чаще всего применяются показатели: «ресурс», «срок службы» и другие.

Ресурс представляет собой запас возможной наработки объекта. Для неремонтируемых объектов, какими являются уплотнительные устройства, он совпадает с продолжительностью пребывания в работоспособном состоянии в режиме применения по назначению, если переход в предельное состояние обусловлен только возникновением отказа.

Статистически оценка среднего ресурса производится по формуле:

$$\bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N R_j, \quad (3)$$

где  $R_{жс}$  – ресурс  $жс$ -го объекта.

Суммарная наработка объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено независимо от его состояния, называется назначенным ресурсом.

Средний срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации группы объектов до момента возникновения предельного состояния. В основном этот показатель применяют для оценки долговечности восстанавливаемых изделий.

Опыт эксплуатации объектов серийного и массового производства показывает, что указанные выше количественные показатели в некоторых случаях обнаруживают значительный статистический разброс. Этот разброс также может служить характеристикой достигнутого уровня техники и технологии. Разброс наработки до отказа, ресурса и срока службы можно уменьшить, а их значения можно увеличить путем тщательной отработки конструкции и технологии изготовления объектов [3].

В частности, для определения меры рассеяния наработки до отказа целесообразно применять среднее квадратическое отклонение, статистическая оценка которого определяется формулой:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{T}_1)^2}. \quad (4)$$

Анализ приведенных выше характеристик надежности показывает, что для оценки безотказности и долговечности уплотнительных устройств наиболее наглядной характеристикой является средняя наработка до отказа. Этот количественный показатель достаточно полно характеризует надежность элементов разового использования, каковыми и являются уплотнительные устройства.

#### **Список литературы**

1. Бабаев С.Г. Надежность нефтепромышленного оборудования. М.: Недра, 1987, 264 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд. стандартов, 1990, 36 с.
3. Руководящий документ. РД 26-16-45-97 «Монтажепригодность нефтепромышленного оборудования. Термины, определения, номенклатура показателей и методы оценки». Баку: изд. АГНА, 1997, 32 с.

### **ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

*Алекина Е.В.*

доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, канд. хим. наук, доцент,  
Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара

*Яговкин Г.Н.*

профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, д-р техн. наук,  
профессор, Самарский государственный технический университет,  
Россия, г. Самара

Проведен анализ технологий организационного управления предприятием. Показан механизм построения динамической организационной структуры управления.

*Ключевые слова:* система управления, технология, структура, механизм.

При проектировании систем управления предприятием обязательным элементом является разработка технологии управления.

Известно значительное количество работ, в которых рассматриваются элементы технологий управления [1, 2, 3, 4]. Однако, способы, реализуемые эти технологии, обычно не рассматриваются, что обычно снижает качество исследований.

Известны следующие четыре категории этих технологий [1]:

- 1) поддерживающие, используемые для стратегии «подготовки соглашений»;
- 2) способы прогнозирования, используемые для «выработки стратегий будущего»;
- 3) переходящие, используемые как для «подготовки соглашений», так и для «выработки стратегий будущего»;
- 4) утилитарные, или универсальные, применяемые для всех стратегий.

Способы, реализующие эти технологии приведены в таблице [1].

Таблица

**Способы, реализующие технологии управления**

Поддерживающие	Переходящие	Прогнозные	Универсальные
Система поступления предложений от сотрудников. Самоуправляемые рабочие группы. Статистический контроль. Сравнительное определение эффективности.	Группа программного обеспечения. Повышение квалификации в организации. Реорганизация процесса деловых отношений. Передача инноваций. Целевые группы. Программы обеспечения качества.	Децентрализованное стратегическое планирование. Анализ сценариев. Совместные предприятия, стратегические союзы. Повышение квалификации за пределами организации. Метод Дельфи.	Изучение потребителя. Группы внешних консультантов. Содержательный анализ.

Для реализации поддерживающих программ применяется система получения и анализа предложений от сотрудников, позволяющая обеспечить обратную связь от персонала к органам управления. Дальнейшее ее развитие – создание самоуправляемых рабочих групп, где ряд функций органа управления возлагается непосредственно на трудовой коллектив. Статистический контроль процесса – специальный способ, связанный с общим управлением качеством, применение которого эффективно в поддерживающих программах. Все большее распространение получает сравнительное определение эффективности, при котором изучается лучший практический опыт вне организации с целью его адаптации к своей организации или конкретной ситуации.

Категорию переходящих способов совершенствования внутреннего управления составляют передаваемый опыт инновационной деятельности, эффективные вмешательства, реорганизация процесса деловых отношений внутри предприятия по выполнению задач системы управления. Программы обеспечения общего качества систем управления являются другим видом переходящих способов организационного управления. Они применяются как для стратегий поддержки, так и для прогнозирования.

Содержательный анализ является более уточненным инструментом при «разработке программы будущего» и может быть определен как способ прогнозирования. Он включает всесторонний мониторинг средств информации, точное определение, разработку курса развития системы управления и оценку важных проблем и тенденций. Подобная информация собирается в отчетах. Акценты и глубина анализа, масштабы распространения информации могут широко варьироваться в зависимости оттого, для чего они предназначены.

Анализ сценариев помогает заранее увидеть потенциальные внешние события и наметить пути адаптации к ним. Метод Дельфи считается наиболее эффективным в прогнозе будущих событий и достижении согласия. Он основан на использовании разработанной программы последовательного индивидуального опроса. Нередко анализ влияния факторов применяется сов-

местно с анализом сценариев, методом Дельфи или содержательным анализом, так как они предоставляют возможность выявить тенденции и предсказать будущие события.

В настоящее время используются способы организационного управления второго поколения: диалог, планирование сценариев, «упражнение Мерлина», совершенствование в действии, зоны для тренировки, управление знаниями и составление карт. Планирование сценариев вовлекает обдумывание через стратегические альтернативы будущего, рассматривая не только один возможный вариант. Они поступают от большого круга участников и основаны на широком выборе данных и информации. Футуристическому мышлению в организациях может потребоваться «посев» или подсказка. Одним из интересных и эффективных способов продумывания решения проблем или стратегического плана в организации является использование «упражнения Мерлина», которое представляет собой комбинацию свободной формы моделирования и планирования сценария. На основании выбранной технологии строится блок-схема динамической организационной структуры управления (см. рис.).



Рис. Блок-схема динамической организационной структуры управления

Как видно из рисунка, для достижения поставленных целей необходимо:

- обеспечить механизм реализации концепции управления, адаптируемой к сигналам внешней среды;
- использовать компромиссные решения по отношению к противоречивым требованиям внешней среды, имеющимся множествам управляющих воздействий на объект управления.

Учет специфики предприятия и экстремальных условий работы персонала позволяет выделить основные факторы, влияющие на систему организационного управления безопасности предприятия:

- количество изменяющихся целей;
- организационная культура предприятия;
- возможность воздействия на персонал;
- отсутствие коммуникационных и информационных каналов с рабочими местами персонала;
- ограничения, которые могут накладываться на работающих по психофизиологическим характеристикам;
- влияние законодательных и нормативных ограничений на управление.

Поскольку количество факторов велико, алгоритм обработки не очевиден и существует необходимость хранения статистических данных, то целесообразно создание моделей, позволяющих производить системный анализ и управление, т.е. использовать автоматизированную систему управления.

#### **Список литературы**

1. Ансофф И. Стратегическое управление. Пер. с англ. – М.: «Экономика», 1989. – 519 с.
2. Белов Н.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. – М.: ГНТБ «Безопасность», МИБ, СТС, 1996. – 424 с.
3. Данилов-Данильян В.И., Завельский М.Г. Система оптимального перспективного планирования народного хозяйства. – М.: Паука, 1975. – 320 с.
4. Емельянов С.В., Наппельбаум Э.Л. Системы, целенаправленность, рефлексия // В сб.: Системные исследования. Методологические проблемы / Гл. ред. Д.М Гвишиани. – М.: Паука, 1981. 384 с. – С. 7-38.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

***Александров В.И.***

доцент кафедры электроснабжения и радиотелемеханики, канд. воен. наук,  
доцент, Тюменское высшее военно-инженерное командное училище,  
Россия, г. Тюмень

***Петелин А.А.***

доцент кафедры электроснабжения и радиотелемеханики, канд. техн. наук,  
Тюменское высшее военно-инженерное командное училище,  
Россия, г. Тюмень

***Юдин В.С.***

преподаватель кафедры электроснабжения и радиотелемеханики,  
Тюменское высшее военно-инженерное командное училище,  
Россия, г. Тюмень

В статье современные источники электрической энергии рассматриваются химические источники питания, наиболее подробно рассмотрены вопросы, связанные с устройством, принципом действия и эксплуатацией их.

*Ключевые слова:* гальванические элементы, аккумуляторы, топливные элементы.

Для жизни современного общества во все более возрастающих объемах требуется электрическая энергия. Широко распространенными источниками электроэнергии стали химические источники тока (ХИТ), масштабы применения которых постоянно увеличиваются.

Гальванические элементы и аккумуляторные батареи используются там, где отсутствуют другие источники: в переносных приборах, аппаратах и устройствах, работающих автономно, или когда нецелесообразно применение аккумуляторов.

Область применения аккумуляторов разнообразна. Они используются в условиях, когда снабжение электрической энергией от других источников невозможно, неудобно или экономически невыгодно во всех отраслях народного хозяйства, в Вооруженных Силах в том числе.

Для обеспечения автономным питанием в настоящее время в основном служат два источника: электрические батареи и фотоэлектрические элементы, но в ближайшем будущем появится третий источник – топливные элементы. Теперь более подробно поговорим о всех перечисленных источниках.

*Фотоэлектрические элементы*, известные обычно как солнечные элементы, вырабатывают электрическую энергию под действием солнечного света.

Для получения необходимого уровня мощности солнечные элементы (батареи) соединяют вместе используя последовательное и параллельное соединение.

Солнечные элементы могут служить также как источники вторичного электропитания, подзаряжая аккумуляторы определенного устройства.



Рис. 1.

*Гальванические элементы* это батареи одноразового использования, однако, преимущество их в том, что, они имеют большую удельную электрическую емкость, чем допустим даже аккумуляторы.

Существует несколько типов гальванических батарей. Классификация гальванических батарей следующая: угольно-цинковые, щелочно-марганцевые, литиевые.

*Угольно-цинковые элементы* находятся на нижнем ярусе батарейного ряда. С момента их изобретения с 1868 г., они почти не претерпели изменений. Эти элементы достаточно дешевы, но являются морально устаревшими.

*Щелочно-марганцевые элементы* (щелочные батарейками). Их удельная емкость выше, они имеют улучшенные температурные характеристики и достаточно умеренную цену.

*Литиевые элементы* являются в настоящее время самыми лучшими. Их удельная емкость, температурные характеристики, более увеличены, они долго сохраняют заряд (порядка 15 лет), а также имеют достаточно малый вес. Недостатком этих элементов является достаточно высокая цена.

В настоящее время наиболее широко стали использоваться кислотные и никель-кадмиевые (NiCd) аккумуляторы.

NiCd аккумуляторы герметичны, могут выдерживать от 200 до 1000 циклов «заряд-разряд», но достаточно быстро выходят из строя, если не соблюдается режимы зарядки. Жизненный цикл этих батарей лежит в пределах 2–4 лет. NiCd аккумуляторы могут сохранять заряд 30–60 дней.

Аккумуляторы с электролитом в виде геля (гелевые элементы) выполнены аналогично автомобильным аккумуляторам. Они представляют собой герметичные, необслуживаемые кислотные аккумуляторы.

Топливные элементы находят все большее применения в различных отраслях.

Топливные элементы используют химические реагенты (топливо), хранящиеся вне элемента, и пока в топливный элемент поступает топливо, он будет вырабатывать электрическую энергию.

Развитие топливных элементов определяется перспективой их использования в космической и гидрологической технике, для электроснабжения электромобилей и в качестве мощных стационарных батарей в системе водородной энергетики. Проблемы развития ТЭ связаны с необходимостью существенного снижения стоимости и повышения ресурса работы.

В данной работе в большей степени обращено внимание на источники питания, наиболее подробно рассмотрены вопросы, связанные с устройством, принципом действия и эксплуатацией их.



Рис. 2.

#### Список литературы

1. Сугаков В. Г. и др. Химические источники тока: Учеб. пособие – Кстово: НВВИКУ, 2005. – 200 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕТОКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИЛЬЗ БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ

*Архиреев А.Г., Буслаев С.В., Нахлесткин А.А.*  
студенты 4 курса кафедры нефтегазового дела,

Омский государственный технический университет, Россия, г. Омск

В данной статье рассмотрена проблема перспективности применения вихретокового метода контроля на производстве. В качестве объекта анализа было рассмотрено производство гильз блока цилиндров дизельных двигателей широкого спектра применения; рассмотрен принцип работы наиболее распространённого вихретокового дефектоскопа типа НТ-8 и приведены данные о результативности его применения на предприятиях.

*Ключевые слова:* дефектоскопия, вихретоковый контроль, машиностроение.

Основной задачей неразрушающего контроля на предприятии является контроль надежности основных рабочих свойств и параметров изделия или

отдельных его узлов, не требующий выведения объекта из работы либо его демонтажа. В настоящий момент имеется большое количество дефектоскопов, имеющих непосредственное практическое применение на производстве. В данной статье будет рассмотрен принцип действия вихретокового дефектоскопа типа НТ-8, содержащего шестнадцать накладных преобразователей и предназначенного для обнаружения дефектов сплошности различного вида в ферромагнитных изделиях, а также рассмотрен процесс контроля с его помощью чугунных гильз блока цилиндров дизельного двигателя [1, с. 230].

Данный дефектоскоп позволяет обнаружить всевозможные дефекты сплошности материала гильзы блока цилиндров, таких как трещины, раковины, поры, расположенных как на внутренней, так и на наружной поверхностях гильзы, в различных диапазонах частот. Отличительная особенность данного дефектоскопа – высокая производительность (время непосредственного контроля одной гильзы не превышает 13 секунд). Автоматизация процесса контроля, а также возможность работы на нем контролеров завода без специальной подготовки позволяет сократить финансовые затраты предприятия на обучение кадрового состава [2, с. 280].

Принцип действия дефектоскопа основан на модуляционном (или динамическом) способе контроля. Его характерной особенностью является относительное перемещение вихретокового преобразователя и контролируемого изделия, чаще всего с постоянной линейной скоростью. При взаимном перемещении накладного преобразователя и контролируемого изделия при попадании дефекта сплошности в область под преобразователем изменяется амплитуда его выходной э.д.с. При постоянной скорости относительного перемещения накладного преобразователя и контролируемого изделия указанная амплитуда зависит также от зазора между преобразователем и поверхностью изделия, а также от его электрических и магнитных параметров, в первую очередь таких, как удельная электрическая проводимость и магнитная проницаемость [3, с. 115].

Как показывают всевозможные исследования, наибольшую сложность при контроле гильз блока цилиндров, изготавливаемых из высокопрочного чугуна, представляет разделение сигналов в измерительной цепи дефектоскопа, возникающих из-за присутствия дефектов сплошности контролируемого изделия и из-за непостоянства электромагнитных параметров его материала при перемещении накладного преобразователя вдоль контролируемой поверхности.

Для уменьшения влияния непостоянства зазора между накладным преобразователем и контролируемой поверхностью применяется два способа. При контроле внутренней поверхности гильзы блока цилиндров, то есть при малой шероховатости этой поверхности, используются контактные подпружиненные накладные преобразователи. Также, контроль гильз дефектоскопом проводится до операции мойки, поэтому на ее поверхности имеются остатки охлаждающей жидкости (применявшейся при механической обработке гильзы), что уменьшает трение между контактным преобразователем и контролируемой поверхностью. При контроле наружной поверхности гильзы

применяются бесконтактные преобразователи. Для уменьшения влияния непостоянства зазора между накладным преобразователем дефектоскопа и контролируемой поверхностью он сделан относительно большим (около 3 мм). Для обеспечения требуемой чувствительности к мелким дефектам обмотки преобразователя включены в резонансные колебательные контура [2, с. 281].

Для разделения сигналов, формирующихся от дефектов сплошности материала контролируемого изделия и от различных мешающих факторов, при динамическом способе вихретоковой дефектоскопии общепринятым является применение частотных фильтров различного типа, установленных после амплитудного детектора, на который поступает вторичный сигнал преобразователя. Это обусловлено тем, что в большинстве случаев частотный спектр импульсов (на выходе амплитудного детектора), соответствующих дефектам сплошности, отличается от спектра импульсов, вызванных влиянием мешающих факторов. Обычно дефектам сплошности как локальным резким изменениям однородности материала соответствуют на выходе амплитудного детектора импульсы с более крутыми фронтами и с меньшей длительностью по сравнению с теми, которые формируются при перемещении преобразователя над участками с отсутствующими дефектами. Применение в данном дефектоскопе фильтра верхних частот позволило достичь существенного повышения отношения (сигнал от дефекта) / (сигнал от структурных неоднородностей) [1, с. 237]. После фильтра верхних частот производится дальнейшее разделение сигналов от дефектов сплошности и от структурных неоднородностей с применением микропроцессора на основе алгоритма, выведенного на основании экспериментальных исследований и практических опытов. Результатом данного технологического решения является почти полное устранение так называемых ложных срабатываний дефектоскопа, когда дефектоскоп срабатывает не от дефекта сплошности материала контролируемого изделия, а от сигнала, вызванного каким-либо мешающим фактором.

Процесс дефектовки гильз блока цилиндров с помощью дефектоскопа НТ-8 в промышленности полностью автоматизирован. После установки гильзы в отсек контроля дефектоскопа, как показано на рисунке, закрываются защитные створки, гильза приближается к накладным преобразователям и приводится во вращение. При обнаружении под любым из 16-ти накладных преобразователей дефекта сплошности материала гильзы ее вращение прекращается, защитные створки открываются, а на передней панели электронного блока загорается световой индикатор красного цвета, показывающий, под каким преобразователем обнаружен дефект. Если дефекты отсутствуют, то после завершения цикла контроля вращение гильзы прекращается, защитные створки отсека контроля открываются и оператор заменяет гильзу на новую и процесс повторяется [3, с. 197].



Рис. Процесс дефектовки гильзы блока цилиндров дефектоскопом НТ-8

Таким образом, применение вихретоковых дефектоскопов позволяет выявить скрытые дефекты ещё на этапе производства и сборки цилиндров двигателя. Стоит отметить, что применение данного оборудования в качестве первичной диагностики позволяет сэкономить значительные финансовые средства предприятия и предотвратить различные серьёзные поломки двигателей на этапе дальнейшей эксплуатации. Так, применение данных дефектоскопов на таких предприятиях, как АО «Омтрансмаш», ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК» с 2011 года позволило сократить число рекламаций по поводу преждевременного выхода из строя дизельных двигателей по причине разрушения блока цилиндров из-за внутренних дефектов на 7,5%, что хоть и незначительно, но сказывается на экономии финансовых ресурсов предприятий. Поэтому можно сказать, что на данный момент применение дефектоскопов самого различного устройства и принципа действия для диагностики узлов и агрегатов является необходимым фактором для повышения качества и надёжности производимого оборудования.

#### Список литературы

1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль / В.В.Клюев. – М. : Машиностроение, 2003 .Т2. – 689 с.
2. Чернышев А.В. Вихретоковый дефектоскоп для контроля гильз цилиндров дизельного двигателя / А.В. Чернышев, И.Е. Загорский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16-17 апреля 2009 г.: в 3 ч. – Могилев, 2009. – Ч.2. – С. 280-281.
3. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля / А. Е. Шубочкин. – М. : Спектр, 2014 . – 288 с.

## ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КРИТЕРИЯ «УЛУЧШЕНИЯ, ИННОВАЦИИ И ОБУЧЕНИЕ» ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

*Димитрова Л.А.*

младший научный сотрудник кафедры «Управление качеством»,  
Донской государственной технической университет,  
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье представлены результаты лингвистического описания одного из критериев самооценки – «улучшения, инновации и обучение» при определении уровня зрелости организации. Приведены функции принадлежности для 5-термовой модели. На основе индексов согласованности и индексов нечеткости проведен анализ качества экспертной информации.

*Ключевые слова:* уровень зрелости организации, функция принадлежности, показатели согласованности, экспертная система.

Важным элементом определения состояния организации является постоянный мониторинг уровня зрелости в направлении достижения устойчивого успеха, для чего используется самооценка. В методике самооценки используется 5 уровней зрелости, которые определяются по каждому направлению деятельности, установленного стандартом [1, с. 24]. Подробная самооценка элементов раздела 9 «улучшения, инновации и обучение» акцентирует внимание:

- на повседневной деятельности по совершенствованию на всех уровнях организации и в отношениях с поставщиками и партнерами,
- на разработке планов предупреждающих действий, направленных на предотвращение или минимизацию выявленных рисков, связанных с инновационной деятельностью,
- на культуре обучения, созданию возможностей для совершенствования, обмену знаниями.

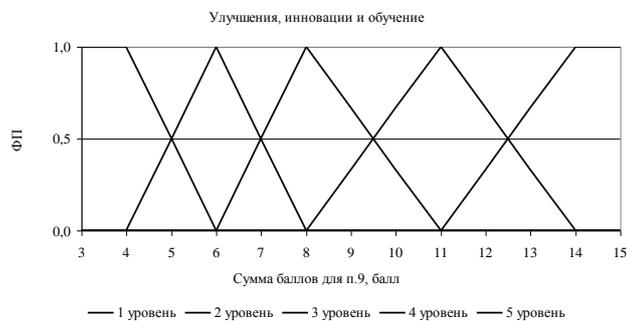
Очевидно, что представление о принадлежности критерия к тому или иному уровню содержат элемент субъективизма, зачастую ряд характеристик сложно измеряются количественно, поскольку предполагают оценку качественных характеристик баллами. Нами предлагается для определения уровня зрелости организации использование оценок экспертов и создание экспертной системы на основе теории нечетких множеств [2, с. 419]. Методика нечеткого моделирования процесса получения достоверной оценки содержит этапы фаззификации, композиции и дефаззификации [3, с. 112]. На этапе фаззификации необходимо представить условия задачи в лингвистической форме [4, с. 46]. На этапе композиции все нечеткие множества, назначенные для каждого термина каждой входной лингвистической переменной, объединяются, и формируется единственное нечеткое множество – значение для выводимой лингвистической переменной. Этап дефаззификации заключается в получении на основе нечеткого логического вывода конкретной оценки. Приведем решение задачи формализации одной из шести входных переменных.

Определим входную лингвистическую переменную «улучшения, инновации и обучение – УИО (п. 9). Кортеж базового терм-множества имеет вид: <УИО, балл { 1 уровень, 2 уровень, 3 уровень, 4 уровень, 5 уровень }, [3 – 15]>.

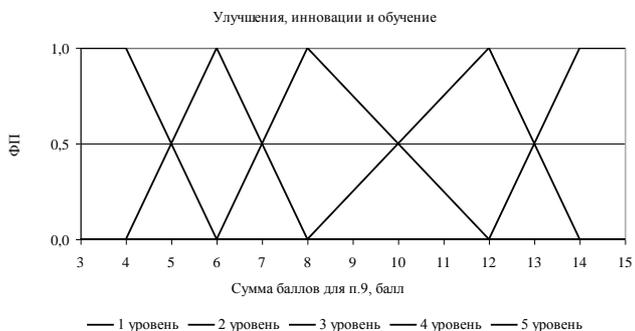
Особенности оценивания определяют использование 5-и термовой модели и описание термов ФП с помощью типовых функций [3, с. 66]. Оценки ЛП были даны четырьмя экспертами (рис.).



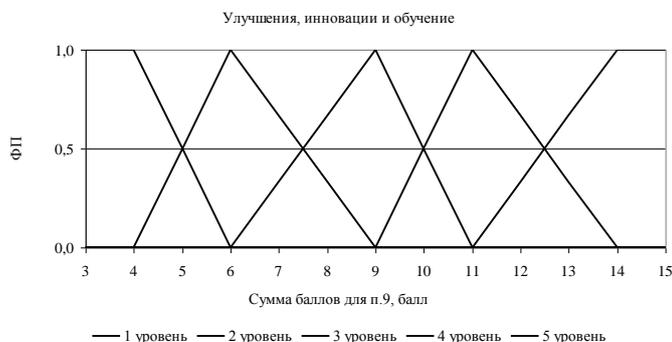
а)



б)



в)



г)

Рис. Вид функций принадлежности:  
а – 1 эксперт; б – 2 эксперт; в – 3 эксперт; г – 4 эксперт

Оценка адекватности экспертной информации определяется на основе анализа согласованности экспертной информации. Общая согласованность моделей экспертного оценивания признака определяется аддитивным  $k$  и мультипликативным  $\tilde{k}$  показателями. Показатель различия  $d$  между моделями двух экспертов,  $i$ -го и  $j$ -го, в рамках  $l$ -го термина определяется как линейное расстояние (Хемминга) между нечеткими множествами [5, с. 94]. Затем строится матрица парной согласованности моделей  $i$ -го и  $j$ -го экспертов (табл. 1). На основе матрицы парной согласованности моделей для всех терминов находится матрица согласованности моделей по всем терминам (табл. 2). Для расчета характеристик согласованности использован программный комплекс [6, с. 83].

Таблица 1

**Матрица парной согласованности для уровня 4**

Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4
1	0,61	0,833	0,714
0,61	1	0,75	0,833
0,833	0,75	1	0,73
0,714	0,833	0,73	1

Таблица 2

**Матрица парной согласованности для всех терминов**

Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4
1	0,764	0,877	0,87
0,764	1	0,877	0,87
0,877	0,877	1	0,812
0,87	0,87	0,812	1

В результате расчета получены следующие значения аддитивного и мультипликативного показателей общей согласованности:  $k = 0,763$ ;  $\tilde{k} = 0,749$ . Эти значения, как и данные табл. 1-2, показывают, что уровень согласованности экспертных знаний достаточно высокий и рассматриваемое описание базового терм-множества применимо в дальнейшем.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9004-2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. – Москва; Стандартинформ. – 2011. – 36 с.
2. Тугенгольд, А.К. К вопросу построения нечеткой экспертной системы производственного типа для технологической регулировки машин [Текст]/ А.К. Тугенгольд, В.П. Димитров, Л.В. Борисова // Вестник ДГТУ. – 2008. –Т.8, № 3 (38) . – С. 419-426.
3. Димитров, В.П. Формализация нечетких экспертных знаний при лингвистическом описании технических систем [Текст] /В.П. Димитров, Л.В. Борисова. – Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2011. – 209 с.
4. Димитров, В.П. О методике фаззификации нечеткой экспертной информации / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 11. № 1-2 (62). – С. 46-50.
5. Димитров, В.П. О методике представления нечетких экспертных знаний [Текст] / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2014. –Т.12, № 4 (79). – С. 93-102.

6. Димитров, В.П. Программная система для ввода экспертных знаний [Текст] / В.П. Димитров, Л.В. Борисова, И.Н. Нурутдинова, Е.В. Богатырёва // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 1 (52). – С. 83-90.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

***Каримов Р.Д.***

младший научный сотрудник кафедры электромеханики,  
Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Россия, г. Уфа

***Вавилов В.Е.***

старший преподаватель кафедры электромеханики, канд. техн. наук,  
Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Россия, г. Уфа

***Горбунов А.С.***

старший преподаватель кафедры электромеханики, канд. техн. наук,  
Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Россия, г. Уфа

***Ямалов И.И.***

ассистент кафедры электромеханики, канд. техн. наук,  
Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Россия, г. Уфа

В данной статье была проанализирована конструкция генератора с цилиндрическими постоянными магнитами, в ходе анализа были получены расчетные значения магнитной системы и доказана эффективность.

*Ключевые слова:* генератор с цилиндрическими ПМ, магнитная система, постоянные магниты.

В настоящее время существует множество вариантов исполнения магнитоэлектрических генераторов. Основное их отличие – это расположение постоянных магнитов на роторе. От типа магнитной системы зависят выходные характеристики поэтому важно, исследовать каждую магнитную систему, чтобы иметь представления о её достоинствах и недостатках [1, 2].

Для исследования была выбрана конструкция магнитоэлектрического генератора с цилиндрическими постоянными магнитами, распределение магнитной индукции для такого генератора представлено на рисунке 1.

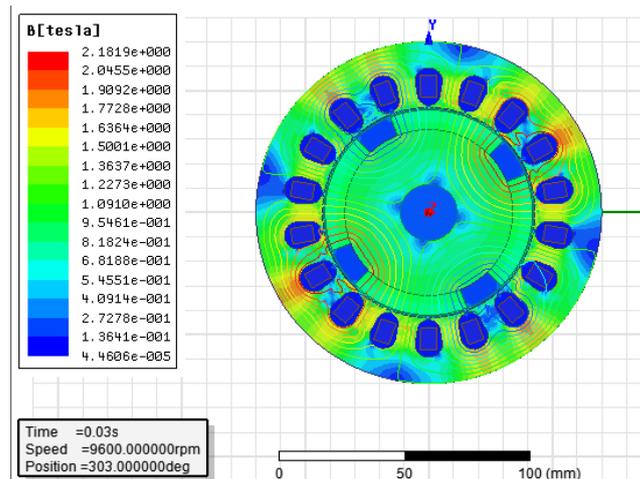


Рис. 1. Распределение магнитной индукции генератора первой конструкции МС с поверхностной установкой постоянных магнитов

Из рисунка видно, что максимальная индукция в сердечнике статора и равна 2,18 Тл, и перенасыщение магнитопровода не наблюдается. Для полной картины распределения магнитного поля на рисунке представлена функция зависимости магнитной индукции от длины средней линий воздушного зазора.

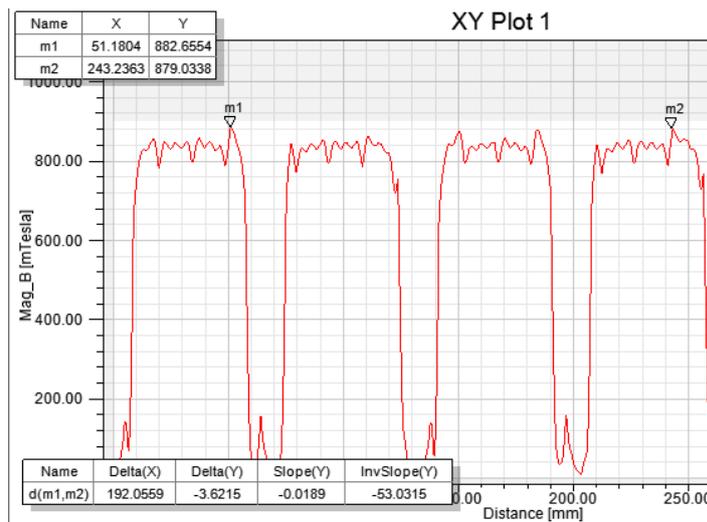


Рис. 2. Распределение магнитной индукции в зазоре для первой конструкции МС с поверхностной установкой постоянных магнитов

Из анализа рисунка видно, что максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре на холостом ходу составляет 0,882 Тл. Что является приемлемым значением.

В *ANSYS Maxwell RMXprt*, были проведены расчеты электрических параметров генератора, полученные данные приведены в таблице.

Расчет плотности тока производился по формуле:

$$J_1 = I_1 / (c S a_1), \quad (1)$$

где  $I_1$  – ток в обмотке статора,  $c$  – количество элементарных проводов в эффективном,  $a_1$  – количество параллельных ветвей обмотки статора.

**Параметры генератора с цилиндрическими ВПМ**

Плотность тока, А/ мм <sup>2</sup>	4,38
Линейная токовая нагрузка, А/см	194,7
Индукция в зубцах, Тл	1,72
Максимальная индукция в ярме статора, Тл	2,18
Потери в обмотке, Вт	108,9
THD, %	3,59
ЭДС 3й гармоники, % от ЭДС основной гармоники	17
Масса ВПМ	1,297

В результате анализа можно уверенно сказать, что данная магнитная система является энергетически эффективной, полученные значения соответствуют существующим современным генераторам с ВПМ, находящихся в серийном выпуске [3].

*Работа выполнена в рамках проекта НШ-6858.2016.8.*

#### **Список литературы**

1. Балагуров В.А. Электрические генераторы с постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат. 1988. 279 с.
2. Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е., Определение коэффициента полюсного перекрытия быстроходных магнитоэлектрических машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами // Электричество. 2013. № 11. С. 51-53.
3. Ситин Д.А. Магнитные системы синхронных электрических машин с редкоземельными постоянными магнитами и повышенной частотой вращения: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.09.01. Москва, 2009. 26 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОЧЕТАНИЯ ДВУХ НЕГАТИВНЫХ, ПОЗИТИВНОЙ И ПОЗИТИВНО-КОНТУРНОЙ СТРУКТУР ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

***Кармишин В.С., Савельев Н.Д.***

магистранты кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры»,  
Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

***Успанов М.Ж.***

старший техник учебного авиационного центра кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей»,  
Военный институт Сил воздушной обороны Республики Казахстан  
им. Т.Я. Бегельдинова, Казахстан, г. Актобе

Приведено обоснование достоверности структурно-разностных определений элемента вибрационно размытого изображения, имеющего две негативные, позитивную и позитивно-контурную пары направлений.

*Ключевые слова:* сегментация изображений, структура разностей, логический функционал, пиксель.

В публикациях [1-2, 7-9] развивается метод измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения материальной точки на поверхности объекта контроля, основанный на измерении и анализе геометрических параметров следа вибрационного размытия изображения круглой метки, в геометрическом центре которой исследуемая материальная точка и находится. След вибрационного размытия изображения круглой метки представляет собой нечеткое полутоновое изображение. Для того, чтобы обработать его методом, развиваемым в публикациях [1-2, 7-9], необходимо адекватно преобразовать его в четкое бинарное изображение. Для этого применяется принцип структурно-разностной бинаризации полутоновых изображений [3-6]. Представляет интерес следующая ситуация (таблица).

Таблица

**Структурно-разностное описание элемента растрового изображения**

$c$	$p_{i,j,c}$	$p_{i,j,c+4}$	пара направлений
1	1	1	негативная
2	1	1	негативная
3	0	2	позитивная
4	1	2	позитивно-контурная

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает позитивная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к позитивным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рисунок).

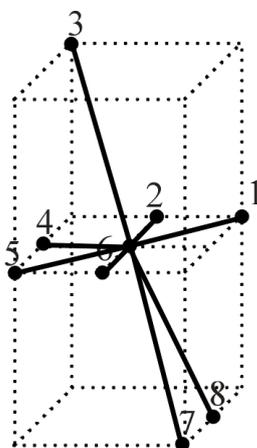


Рис. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

*Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.*

#### Список литературы

1. Григорьев А.В., Алмаметов В.Б., Долотин А.И., Царев А.Г., Беликов Г.Г., Гришко А.К. Методика калибровки системы трехкомпонентного измерения параметров вибра-

ций на основе анализа геометрии следа размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 16-19.

2. Григорьев А.В., Данилова Е.А., Бростилов С.А., Наумова И.Ю., Лапшин Э.В., Баранов А.А. Структура методики измерения параметров вибраций по следу размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 13-16.

3. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ внутренних элементов плоского сегмента полутонового растрового изображения // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 24-27.

4. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ контурных элементов плоской вершины на протяженном убывающем склоне растровой поверхности // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 27-30.

5. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Об ограничениях уровнево-пороговой сегментации полутоновых растровых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 18-21.

6. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 21-24.

7. Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Андреев П.Г., Таньков Г.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее компланарном и ортогональном виброперемещениях // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 107-109.

8. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Затылкин А.В., Горячев Н.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее произвольном виброперемещении // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 109-112.

9. Кочегаров И.И., Моисеев С.А. Бесконтактное измерение вибрации // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 298-300.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОЧЕТАНИЯ ДВУХ НЕГАТИВНЫХ, НЕГАТИВНО-КОНТУРНОЙ И ПОЗИТИВНОЙ СТРУКТУР ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Кармишин В.С., Савельев Н.Д.*

магистранты кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры»,  
Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

*Успанов М.Ж.*

старший техник учебного авиационного центра кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей»,

Военный институт Сил воздушной обороны  
Республики Казахстан им. Т.Я. Бегельдинова, Казахстан, г. Актобе

Приведено обоснование достоверности структурно-разностных определений элемента вибрационно размытого изображения, имеющего две негативные, негативно-контурную и позитивную пары направлений.

*Ключевые слова:* сегментация изображений, структура разностей, логический функционал, пиксель.

В публикациях [1-2, 7-9] развивается метод измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения материальной точки на поверхности объекта контроля, основанный на измерении и анализе геометрических параметров следа вибрационного размытия изображения круглой метки, в геометрическом центре которой исследуемая материальная точка и находится. След вибрационного размытия изображения круглой метки представляет собой нечеткое полутоновое изображение. Для того, чтобы обработать его методом, развиваемым в публикациях [1-2, 7-9], необходимо адекватно преобразовать его в четкое бинарное изображение. Для этого применяется принцип структурно-разностной бинаризации полутоновых изображений [3-6]. Представляет интерес следующая ситуация (табл.).

Таблица

**Структурно-разностное описание элемента  
растрового изображения**

$c$	$p_{i,j,c}$	$p_{i,j,c+4}$	пара направлений
1	1	1	негативная
2	1	1	негативная
3	0	1	негативно-контурная
4	0	2	позитивная

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает негативно-контурная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к негативно-контурным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рисунки).

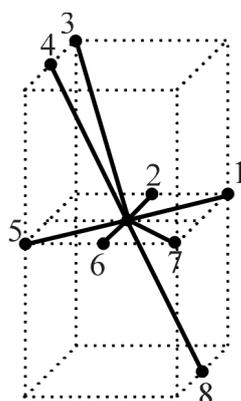


Рис. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

*Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.*

### Список литературы

1. Григорьев А.В., Алмаметов В.Б., Долотин А.И., Царев А.Г., Беликов Г.Г., Гришко А.К. Методика калибровки системы трехкомпонентного измерения параметров вибраций на основе анализа геометрии следа размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 16-19.
2. Григорьев А.В., Данилова Е.А., Бростилов С.А., Наумова И.Ю., Лапшин Э.В., Баранов А.А. Структура методики измерения параметров вибраций по следу размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 13-16.
3. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ внутренних элементов плоского сегмента полутонового растрового изображения // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 24-27.
4. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ контурных элементов плоской вершины на протяженном убывающем склоне растровой поверхности // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 27-30.
5. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Об ограничениях уровнево-пороговой сегментации полутоновых растровых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 18-21.
6. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 21-24.
7. Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Андреев П.Г., Таньков Г.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее компланарном и ортогональном виброперемещениях // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 107-109.
8. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Затылкин А.В., Горячев Н.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее произвольном виброперемещении // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 109-112.
9. Кочегаров И.И., Моисеев С.А. Бесконтактное измерение вибрации // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 298-300.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КЛАСТЕРА

*Кахриманова А.С.*

аспирант кафедры Автоматики и управление,  
Астраханский государственный технический университет,  
Россия, г. Астрахань

*Щербатов И.А.*

доцент кафедры Автоматики и управление канд. техн. наук, доцент,  
Астраханский государственный технический университет,  
Россия, г. Астрахань

В статье региональный сельскохозяйственный кластер рассматривается с позиции организационных систем и анализируется как социально-экономическая система. Выделение информационной структуры кластера, как основы его системного анализа позволяет

перейти к постановке и решению актуальной задачи управления сельскохозяйственным кластером как социально-экономической системой.

*Ключевые слова:* информационная структура, социально-экономическая система, сельскохозяйственный кластер, управление, системный анализ.

Региональный сельскохозяйственный кластер (СХК) характеризуется высокой сложностью взаимосвязей элементов внутри себя и управленческой структуры, что обуславливает сложность присутствующих информационных связей, которые характеризуются информационными потоками, распространяющимися внутри сельскохозяйственного кластера как социально-экономической системы. Информационная структура регионального СХК – это одна из ключевых составляющих его анализа как социально-экономической системы (СЭС) на основании подхода, изложенного в работах [1-4].

Информационную структуру СХК представим в виде замкнутой последовательности передачи информационных потоков [2] в соответствии с управленческим циклом организационных систем (выделяют основные функции управления, т.е. планирование, организация, стимулирование и контроль), описанном в [5] и особенностями СХК из [6] (рис.).

Для того, чтобы перейти к постановке и решению задачи управления СХК как СЭС необходимо раскрыть связи в рамках информационной структуры потоков между функциями управления, реализуемыми системой.

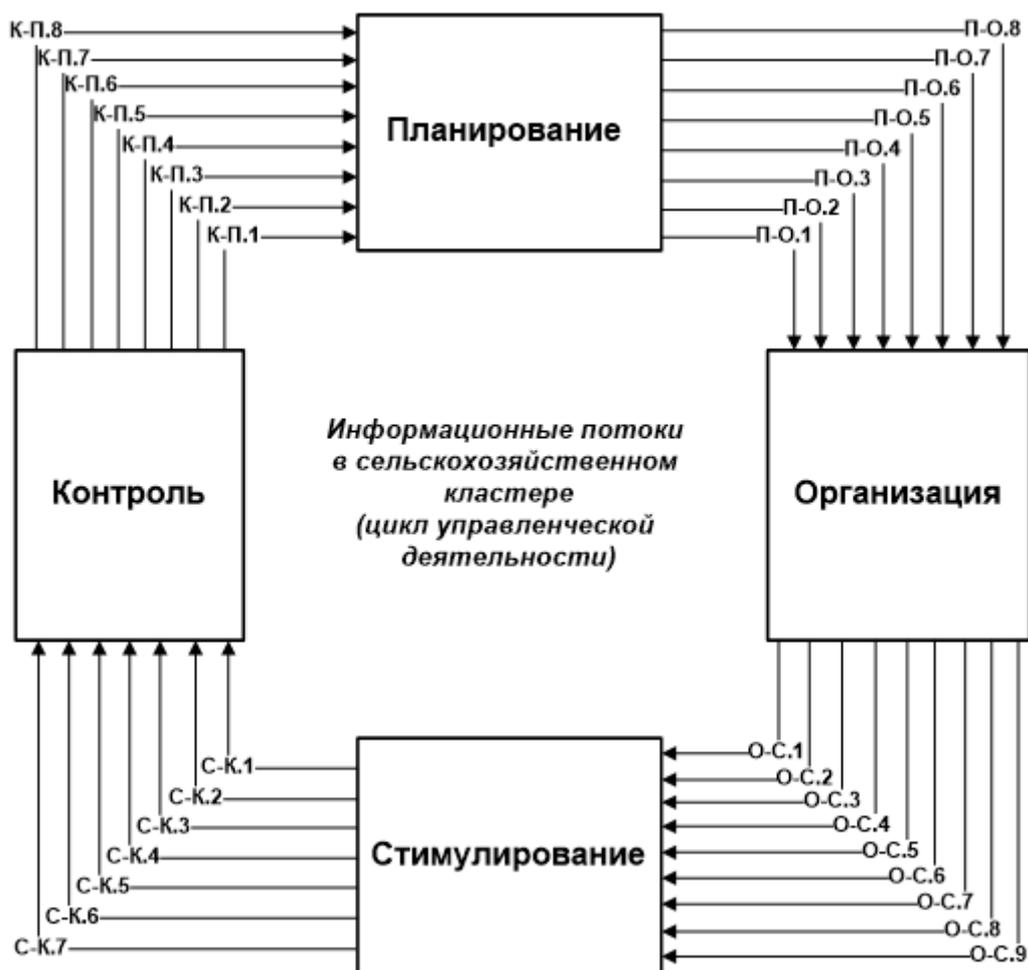


Рис. Информационная структура СХК

На рис. присутствуют следующие обозначения: П-О.1 – план производства продукции; П-О.2 – кредитные ресурсы и задолженность; П-О.3 – водопотребление, удобрения, энергоресурсы; П-О.4 – план переработки продукции; П-О.5 – план сбыта продукции; П-О.6 – план приобретения техники, оборудования и материалов; П-О.7 – план подготовки специалистов; П-О.8 – план проведения научных исследований; О-С.1 – страхование урожая; О-С.2 – посевные площади и площади хранения урожая, продукции; О-С.3 – персонал; О-С.4 – консультационная помощь; О-С.5 – отечественные семена и животные; О-С.6 – себестоимость и издержки; О-С.7 – выполнение планов производства, переработки и сбыта; О-С.8 – выполнение планов подготовки специалистов и проведения научных исследований; О-С.9 – выполнение плана приобретения; С-К.1 – несвязанная поддержка; С-К.2 – кредитование участника; С-К.3 – страхование урожая и продукции; С-К.4 – мотивация персонала и молодых специалистов; С-К.5 – занятость населения; С-К.6 – динамика по контрольным показателям; С-К.7 – посевные и площади хранения; К-П.1 – сезонность производства и сбыта; К-П.2 – риски производства и сбыта; К-П.3 – природно-климатические особенности; К-П.4 – качество семян и молоди; К-П.5 – технологический уровень участников и состояние основных фондов; К-П.6 – корректировка планов; К-П.7 – корректировка издержек; К-П.8 – корректировка стоимости.

Таким образом, построенная информационная структура позволяет перейти к постановке и решению задачи управления СХК как СЭС.

#### Список литературы

1. Новиков Д.А. Институциональное управление организационными системами. – М.: ИПУ РАН, 2003.
2. Ханова А.А. Грузовой порт как социально-экономическая, организационная система // Перспективы развития информационных технологий. 2011. № 6. С. 146-152.
3. Ханова А.А. Методология стратегического управления грузовым портом на основе имитационного моделирования. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Астраханский государственный технический университет. Астрахань, 2013.
4. Ханова А.А., Хортонен А.С., Парамзина Л.В. Системные взаимосвязи стратегического управления и моделирования социально-экономических систем на основе сбалансированной системы показателей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 2. С. 109-116.
5. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами: Учебник / Под ред. Д. А. Новикова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 264 с.
6. Постановление Правительства Астраханской области от 10.09.2014 № 368-П о Государственной программе «Развитие агропромышленного комплекса Астраханской области».

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДОВ ПОСТРОЕННОГО НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ LT3799

*Корчикова А.Е.*

студентка 2 курса магистратуры факультета электроники, информатики и управления, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Россия, г. Калуга

Ряд компаний выпускает микросхемы, ориентированные на создание недорогих источников питания светодиодов, предназначенных для применения в различных сферах. В данной работе выполнено проектирование и моделирование схемы электрической принципиальной, основанной на контроллере LT3799.

*Ключевые слова:* светодиод, драйвер, моделирование, автоматизированное проектирование.

В настоящее время освещение является важным сектором потребления энергии, его доля составляет 20% от общего числа вырабатываемой электрической энергии [3]. Один из путей повышения энергоэффективности связан со снижением расходов на освещение. Весьма перспективное направление – использование светодиодных осветительных приборов.

Неотъемлемая составляющая светодиодных ламп, это драйвер светодиодов, который служит для питания светодиода от сети переменного тока, то есть устройство преобразует переменное сетевое напряжение в ток, протекающий через светодиоды. С момента своего появления, светодиоды проделали долгий путь технологического развития. В последние годы были разработаны яркие светодиоды в широком диапазоне цветов, который включает и белый. Существует два типа светодиодов высокой яркости с использованием определенных полупроводниковых материалов: на основе AlInGaP создают красные, оранжевые, желтые и зеленые светодиоды высокой яркости, а InGaN, позволяет создать синий, сине-зеленый, чистый зеленый и, вместе с желтым люминофором, белый цвет. Светодиоды представляют интерес в качестве источников подсветки ЖК-дисплеев телевизоров, ноутбуков используются в автомобильных тормозных фонарях, светофорах, дорожных знаках, а также в жилых помещениях и офисах.

Ряд компаний выпускает микросхемы, ориентированные на создание недорогих источников питания светодиодов, предназначенных для применения в различных сферах.

Известны и широко распространены модели контроллеров таких производителей как International Rectifier (контроллер IRS2540 и IRS2541) и Supertex Inc. (контроллер HV9910 и HV9961) [4]. В данной работе, с целью повышения результирующего уровня стабилизации и снижения конечной стоимости изделия, будет выполнено проектирование и моделирование схемы электрической принципиальной, основанной на менее распространённом контроллере LT3799 фирмы Linear Technologies.

Микросхема LT3799 представляет собой изолированный контроллер светодиодов с активной компенсацией коэффициента мощности, который специально разработан для работы со светодиодной нагрузкой мощностью от 4 до 100 Вт при широком входном диапазоне значений переменного напряжения 90-265 В.

Микросхема LT3799 также совместима со стандартным настенным симисторным регулятором освещения (TRIAC Dimmer). Уникальная схема считывания тока на этой микросхеме выдает хорошо стабилизированный ток и обходится без оптопары. Кроме уменьшения итоговой стоимости системы, повышается ее надежность за счет использования минимума внешних компонентов.

Целью данной работы является моделирование драйвера светодиодов, построенного на базе микросхемы LT3799. В качестве программы схемотехнического моделирования в настоящее время используется целый ряд известных симуляторов [1], для выполнения настоящей работы авторы остановили свой выбор на программе LTspice IV, которая является бесплатной и не требовательной к вычислительным ресурсам.

На рисунке 1 приведена схема (рабочее окно LTspice IV) модели драйвера светодиодов с применением микросхемы LT3799.

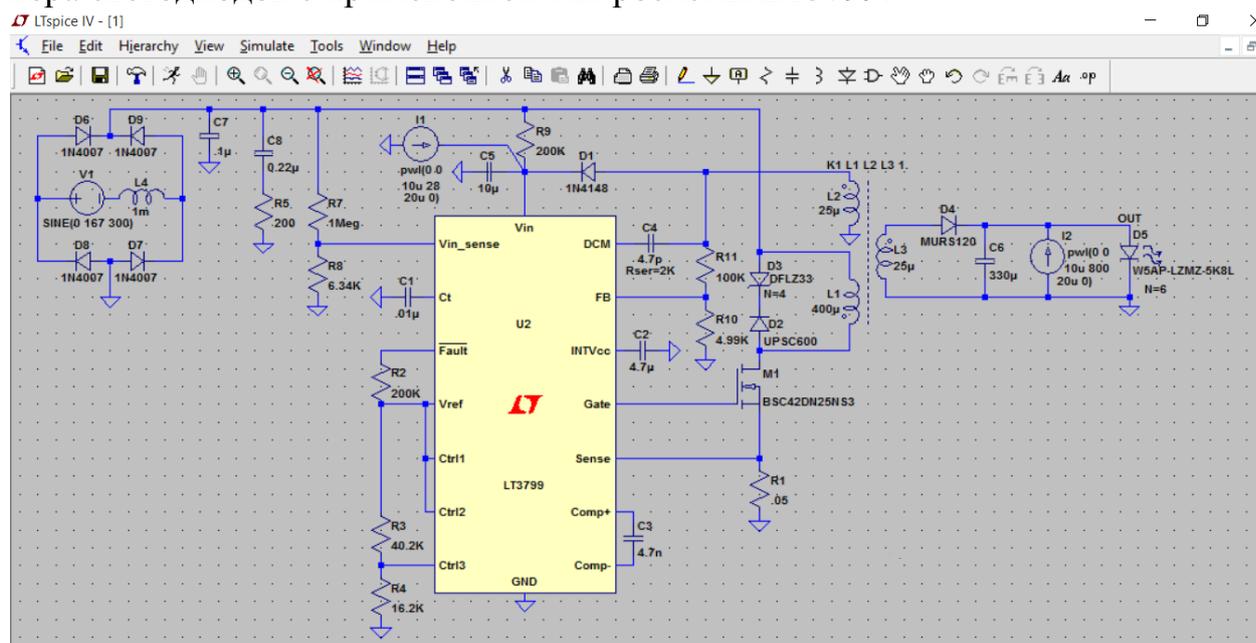


Рис. 1. Модель драйвера светодиодов с использованием контроллера LT3799

Временные диаграммы, поясняющие принцип работы драйвера, приведены на рис. 2.

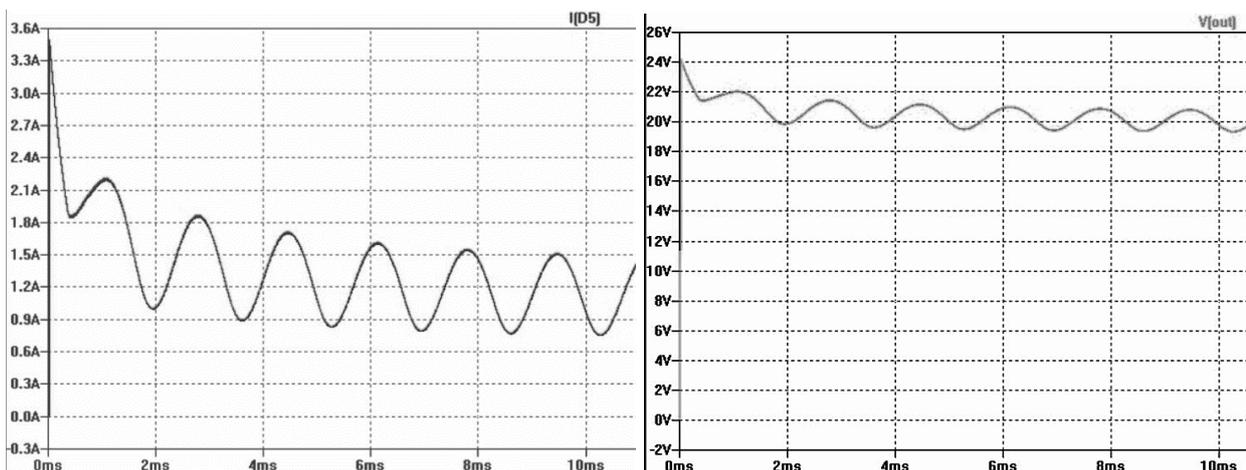


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы драйвера

Как видно из результатов моделирования, устройство функционирует корректно. Удалось достичь уровня стабилизации тока, соответствующего 5%. Устройство выходит на рабочий режим в течение 2 мс после включения.

Вышеизложенное подтверждает важность и незаменимость всех этапов автоматизированного проектирования электронных устройств для оптимизации параметров разрабатываемой схемы и проверки жизненных циклов функционирования устройства.

Драйвер выполняет свои функции и сохраняет значения параметров. Предложенное в работе имитационное моделирование соответствует современной методологии автоматизированного проектирования электронных устройств и оптимизации на этапах проектирования, что повышает их надежность и помехоустойчивость.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) Экспериментальные данные подтверждают правильность выбранного схемотехнического решения,
- 2) Драйвер соответствует всем предъявляемым требованиям и обладает запасом мощности, необходимым для стабилизации тока светодиодов [2],
- 3) Драйвер может быть использован в составе светодиодных светильников промышленного и бытового назначения.

#### Список литературы

1. Глухов А.В., Рогулин Л.Ю. Моделирование драйверов светодиодов в среде OrCAD // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2013. Т. 19. № 2. С. 291-297.
2. Драч В.Е., Корчикова А.Е. Повышение уровня стабилизации драйвера светодиодов // Вестник инженерной школы дальневосточного федерального университета. 2016. В. №1 (26). С. 10-16.
3. Иванов А.В., Фёдоров А.В., Зайченко Т.Н., Целебровский И.В. Исследование и разработка элементов и узлов системы управления светодиодным источником света с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками // Доклады Томского университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. № 2 (24). Ч. 3. С. 71-77.
4. Корчикова А.Е., Драч В.Е. Проектирование драйвера светодиодов высокой яркости // Инновационная наука. 2015. № 11-2. С. 69-72.

# ОСОБЕННОСТИ ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОЙ СИСТЕМЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*Ксендзов В.А.*

профессор кафедры строительство инженерных сооружений и механики,  
д-р техн. наук, профессор, Рязанский государственный агротехнологический  
университет, Россия, г. Рязань

В статье рассматриваются особенности фазочастотных характеристик одной модели сельхозмашин, имеющей в своей кинематической схеме запаздывающую обратную связь.

*Ключевые слова:* особенности, фазочастотная характеристика, модель машины, запаздывающая обратная связь.

Рассматриваются особенности фазочастотных характеристик модели сельхозмашин, описываемой следующим дифференциальным уравнением [1, стр. 71]:

$$\ddot{y}(t) + 2n\dot{y}(t) + \lambda^2[y(t) - k_y y(t - \tau)] = q(t) \quad (1)$$

с применением программы MathCAD. Исходя из (1) рассчитаны коэффициент динамичности и фазочастотная характеристика [1, стр. 109]:

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - (\omega/\lambda)^2 - k_y \cos \omega\tau\right)^2 + \left(2(n/\lambda)(\omega/\lambda) + k_y \sin \omega\tau\right)^2}}. \quad (2)$$

$$\varphi = \arctg \left[ -\frac{2(n/\lambda)(\omega/\lambda) + k_y \sin \omega\tau}{1 - (\omega/\lambda)^2 - k_y \cos \omega\tau} \right]. \quad (3)$$

Примеры фазочастотных характеристик для различных значений коэффициентов уравнения (1) приведены в пособии [1, стр. 113-115]. При их расчете в программе MathCAD следует учитывать ряд особенностей.

1. При расчете графика, построенного по формуле  $y(x) = \operatorname{tg}(x)$ , последний содержит как главную ветвь тангенсоиды, так и ветви, полученные из главной путем смещения ее на  $\pm i\pi$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ , (рисунок 1). При расчете же графика  $z(x) = \operatorname{arctg}(x)$  выводится только главная ветвь (рисунок 2, сплошная линия). Для вывода других ветвей следует к основному значению добавлять  $\pm i\pi$  (пунктирные линии).

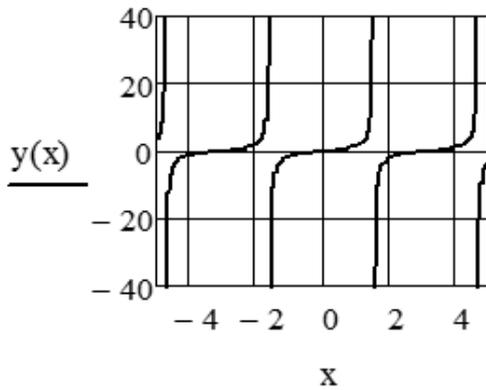


Рис. 1. График  $y = \text{tg}(x)$

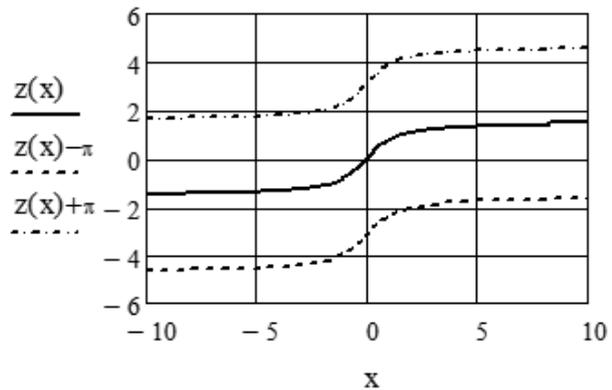


Рис. 2. График  $z = \text{arctg}(x)$

2. В этой связи графики фазочастотных характеристик по (3) в программе MathCAD следует рассчитывать по формулам

$$\phi_{i,j} := \begin{cases} -\text{atan} \left[ \frac{2 \cdot \frac{n_j}{\lambda} \cdot \frac{\omega_i}{\lambda} + k_y \cdot \sin(\omega_i \cdot \tau)}{1 - \left(\frac{\omega_i}{\lambda}\right)^2 - k_y \cdot \cos(\omega_i \cdot \tau)} \right] & \text{if } 1 - \left(\frac{\omega_i}{\lambda}\right)^2 - k_y \cdot \cos(\omega_i \cdot \tau) > 0 \\ -\text{atan} \left[ \frac{2 \cdot \frac{n_j}{\lambda} \cdot \frac{\omega_i}{\lambda} + k_y \cdot \sin(\omega_i \cdot \tau)}{1 - \left(\frac{\omega_i}{\lambda}\right)^2 - k_y \cdot \cos(\omega_i \cdot \tau)} \right] - \pi & \text{if } 1 - \left(\frac{\omega_i}{\lambda}\right)^2 - k_y \cdot \cos(\omega_i \cdot \tau) < 0 \\ \left(-\frac{\pi}{2}\right) & \text{if } 1 - \left(\frac{\omega_i}{\lambda}\right)^2 - k_y \cdot \cos(\omega_i \cdot \tau) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

3. При малых значениях коэффициента обратной связи  $k_y$ , являющимся амплитудой гармонических функций, графики фазочастотных характеристик близки к графикам классических ФЧХ, рисунок 3, где сплошными линиями показаны классические ФЧХ ( $n = 1, 2$  рад./сек,  $\lambda = 6$  рад./сек,  $k_y = 0$ ), а точечными – построенные по формулам (4) при  $n = 1, 2$  рад./сек,  $\lambda = 6$  рад./сек,  $k_y = 0.1$ ,  $\tau = 1$  сек.

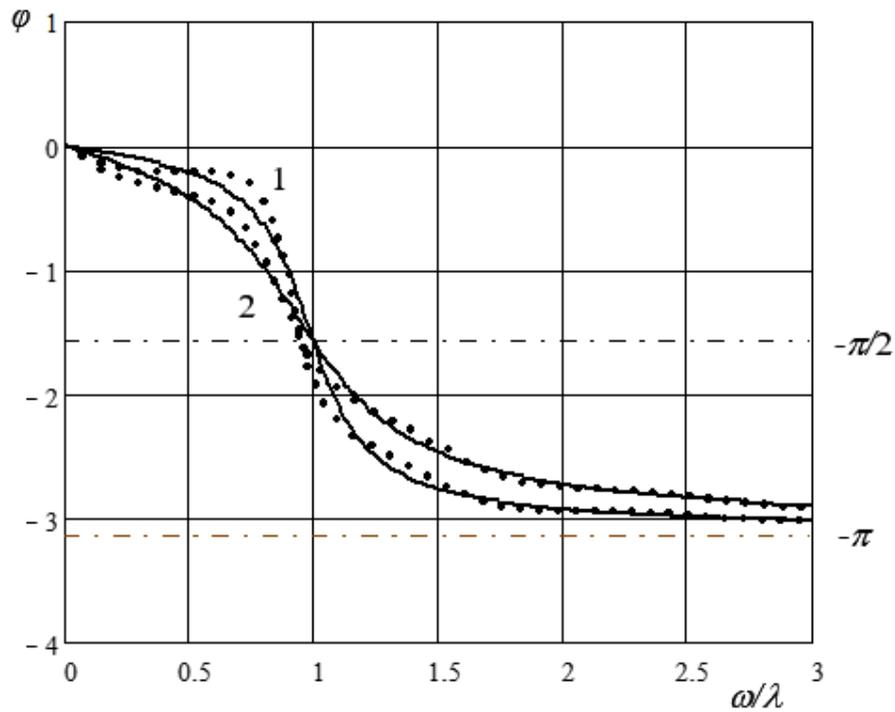


Рис. 3. Графики ФЧХ

4. При значительных коэффициентах обратной связи  $k_y$ , кривые ФЧХ могут существенно отличаться от классических. На рисунке 4 показаны линии, построенные по формулам (4): классическая ступенчатая линия (сплошная линия 1,  $n = 0, k_y = 0$ ) и точечные: линия 2 ( $n = 0, k_y = 0.8$ ), 3 ( $n = 2.4, k_y = 0.8$ ) и 4 ( $k_y = 0.8$ ).

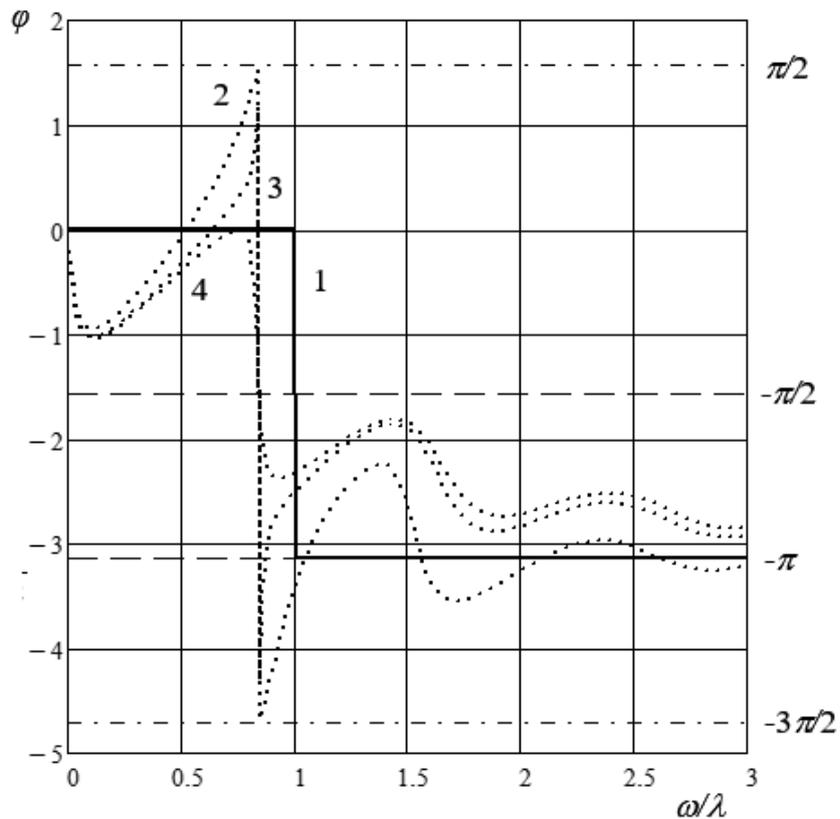


Рис. 4. Графики ФЧХ

Максимальное значение линии 4 равно нулю, а сама линия не выходит за пределы ноль. Частота и коэффициент затухания, при которой линия 4 имеет максимальное значение, получим из формулы (4), приравняв числитель нулю. Коэффициент затухания при этом вычисляется по формуле

$$n = \frac{-\lambda^2 k_y \sin(\omega\tau)}{2\omega}, \quad (5)$$

по которой построен график, рисунок 5. Например, по графику на рисунке 4 зададим значение  $\omega/\lambda = 0.55$  и соответственно частоту  $\omega := 3.3$  ( $\lambda = 6$ ). По формуле (5) получаем значение коэффициента затухания  $n = 0.688$ .

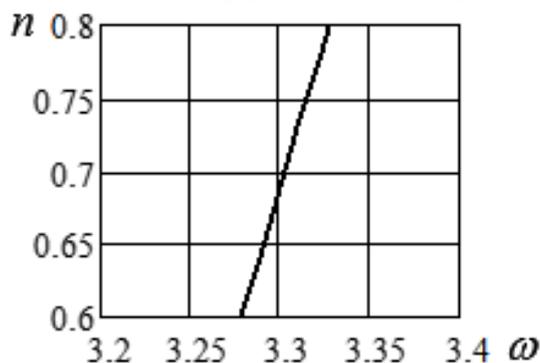


Рис. 5. График  $n(\omega)$

5. Максимальное значение линии 2 получим, приравняв знаменатель в (4) к нулю. Имеем:

$$\varphi_{2_{max}} = \text{arctg}(\infty) = \pi/2.$$

Расчет минимального значения следует вести по 2-ой формуле из (4), учитывая смещение по фазе на  $-\pi$ . Имеем:  $\varphi_{2_{min}} = \text{arctg}(-\infty) - \pi = -3\pi/2$ .

Полный скачек фазы для этой кривой получается равным  $-2\pi$ . Этот скачек не отражается на поведении амплитудно-частотной характеристики, поскольку  $\sin(\alpha \pm 2\pi) = \sin\alpha$  и  $\cos(\alpha \pm 2\pi) = \cos\alpha$ .

6. Из графика на рисунке 4 видно, что вертикальная линия, показывающая скачек фазы, смещается влево от классической ступенчатой линии. Причину этому можно увидеть из рисунка 6.

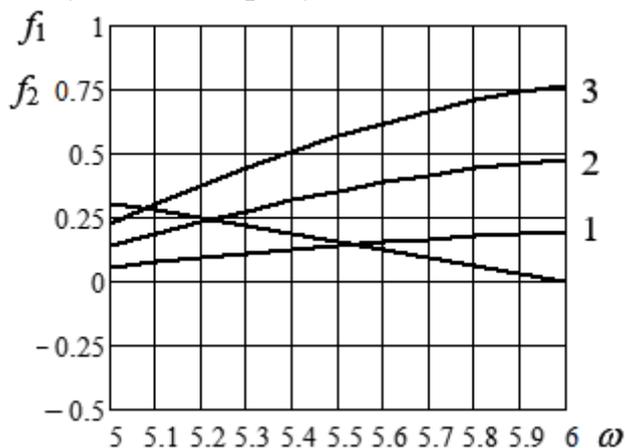


Рис. 6. К расчету смещения вертикальной линии

Из приравнивания знаменателя в (4) нулю,  $1 - (\omega/\lambda)^2 - k_y \cos(\omega\tau) = 0$ , запишем следующие формулы:

$$f_1(\omega) = 1 - \left(\frac{\omega}{\lambda}\right)^2, \quad f_2(\omega) = k_y \cos(\omega\tau),$$

и построим их на графике, рисунок 6. Линии 1, 2, 3 построены по формуле  $f_2(\omega)$  для значений коэффициента обратной связи  $k_y = 0.2, 0.5, 0.8$ . Видно, что с увеличением  $k_y$  точка пересечения кривой  $f_1(\omega)$  с кривыми  $f_2(\omega)$  смещается влево. Значения частот, вычисленные решающим блоком **Given-Find**, соответственно равны:  $\omega_1 = 5.54, \omega_2 = 5.22, \omega_3 = 5.076$ . Так как для классической ступенчатой линии вертикальная линия отвечает значению  $\omega = 6$  ( $\omega/\lambda = 1, \lambda = 6$ ), то соответствующие смещения точек пересечения влево составят 0.46, 0.78 и 0.924.

Зависимость значения частоты  $\omega$  от коэффициента  $k_y$  вычисляется по формуле

$$k_y(\omega) = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\lambda}\right)^2}{\cos(\omega\tau)},$$

график которого показан на рисунке 7.

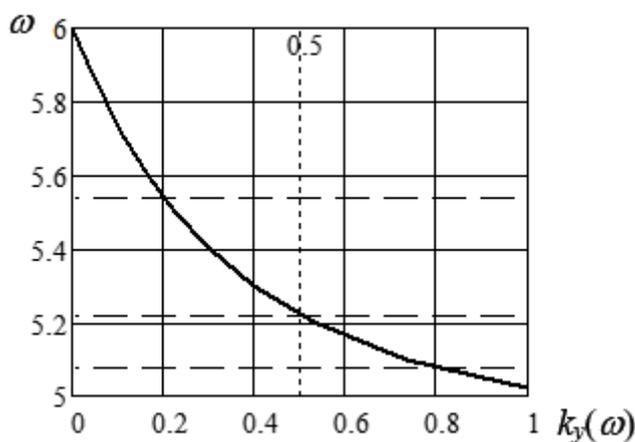


Рис. 7. Зависимость  $k_y(\omega)$

#### Список литературы

1. Ксендзов В. А. Введение в механику машин и механизмов с запаздывающими обратными связями. М.: «Спутник +», 2009. 206 с.

# ВИРТУАЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРВИСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Литвин Ю.В.*

директор центра, канд. экон. наук, ООО «НИИГазэкономика»,  
Россия, г. Москва

В статье рассматривается новый подход к оценке вероятностно-временных характеристик сервисно-ориентированных систем на основе виртуальных прототипов и имитационных моделей. Технология применения подхода демонстрируется конкретным примером оценки принимаемых решений по параллельной обработке потоков информационных запросов.

*Ключевые слова:* концептуальная модель, виртуальный прототип, имитация.

Исходя из растущей сложности создаваемых информационных систем (ИС) возрастает роль инструментария по обоснованию принимаемых решений на различных стадиях их разработки и эксплуатации. Проблема состоит в том, что задачи принятия проектных решений приходится ставить и решать в условиях высокой неопределенности и неполноте информации о создаваемых сервисно-ориентированных системах и их окружении. В то же время, откладывая анализ этих решений на более позднее время, когда появятся дополнительные данные о проектируемой системе, мы рискуем столкнуться с существенными переделками, дополнительными затратами.

Наряду с модельным обоснованием проектных решений в последнее время существенно возрос интерес к виртуальному прототипированию ИС [1]. Использование прототипа создаваемой системы позволяет уже на ранних этапах подключить заказчика к выработке детальных требований, а разработчикам провести апробирование принятых конструкторских решений и осуществить измерение информации о вычислительном процессе, протекающем в системе. Эволюционный тип прототипа позволяет путем постепенного наращивания в нем функций создать, в конце концов, полную ИС. Однако использование прототипирования решает только часть вопросов проектирования и рисков. Поэтому наряду с прототипированием может использоваться и математическое моделирование [2]. В настоящей статье представлена разработанная авторами система виртуального прототипирования и моделирования (СВПМ), поддерживающая процессы проектирования ИС на различных стадиях их жизненного цикла.

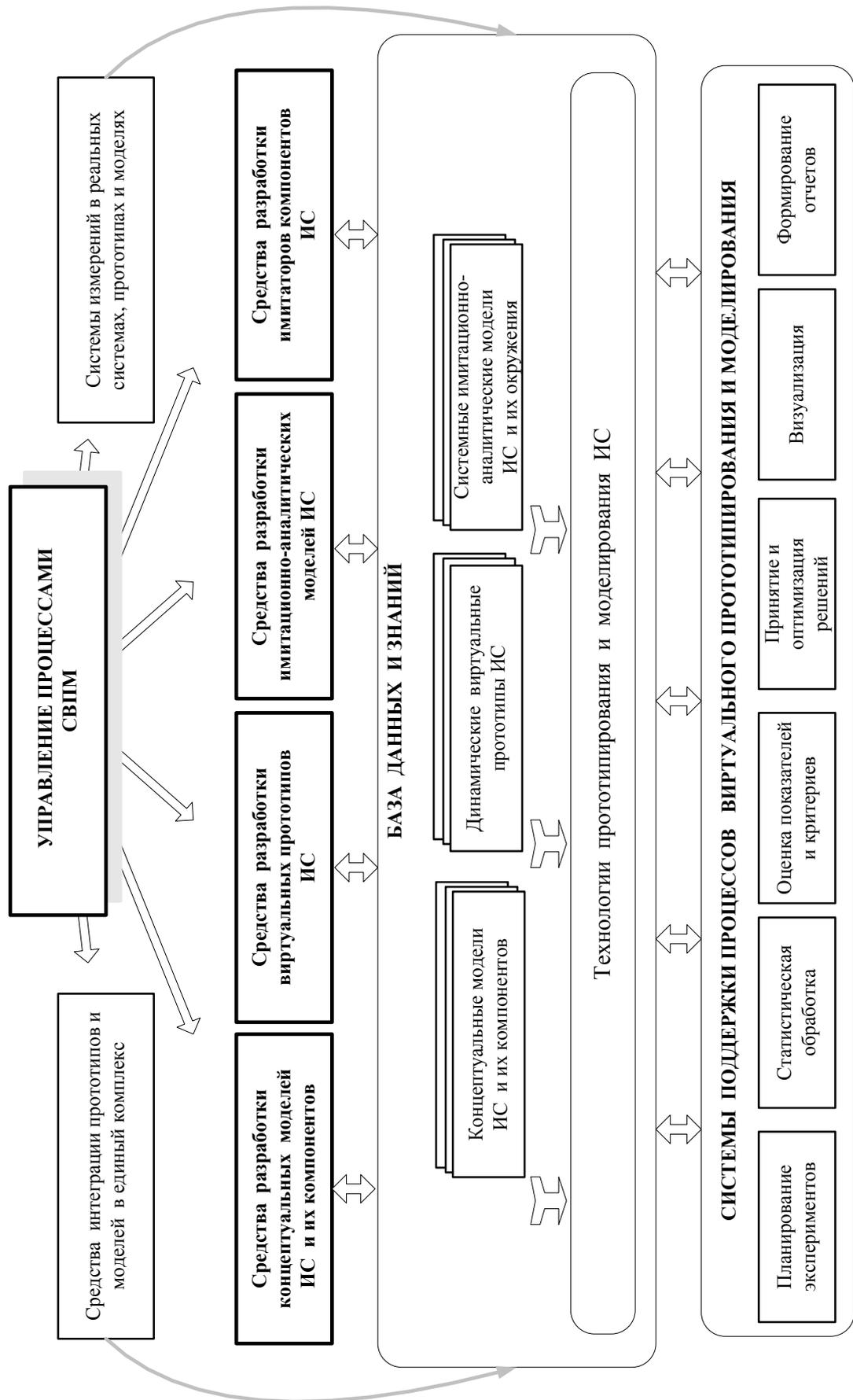


Рис. 1. Система виртуального прототипирования и моделирования

Процесс использования СВПМ состоит в выполнении нескольких фаз:

- 1) разработка концептуальной модели ИС;
- 2) разработка виртуального прототипа ИС и выполнение процессов обработки запросов;
- 3) разработка и использование имитационной модели, отражающей особенности ИС, не вошедшие в прототип;
- 4) проведение имитационных экспериментов и обоснование решений по проектным решениям и организации ИС.

В связи с многоэтапностью и многоплановостью процесса проведения исследований и обоснования решений создаваемой ИС элементы соответствующей технологии виртуального прототипирования и математического моделирования лучше всего рассмотреть на конкретном примере.

*Пример.* Рассмотрим результаты применения развиваемого подхода для оценки решений по организации параллельного выполнения прикладных программ на сервере ИС (рис. 2). Рассматривается ИС, обслуживающая два класса запросов. Средние времена выполнения фрагментов программ, на которые делятся исходные программы для распараллеливания, получены по результатам измерений прототипа.

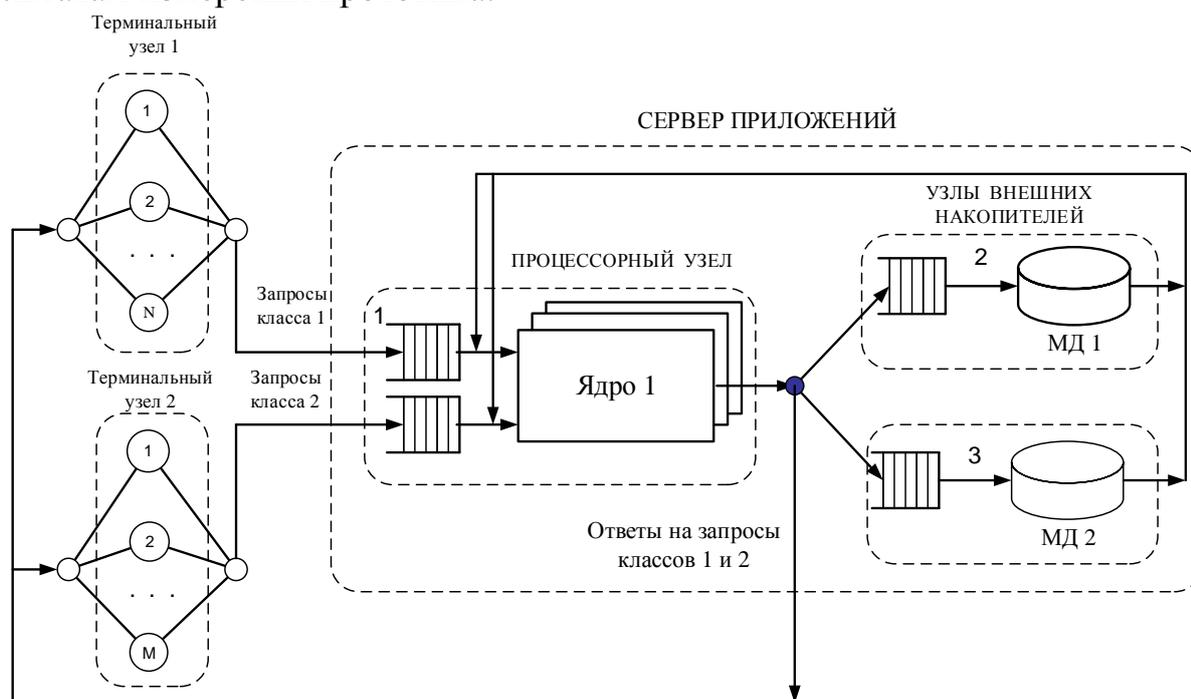


Рис. 2. Сетевая модель прототипа серверного узла

Таблица 1

**Исходные данные для моделирования**

Наименование функций	Среднее время выполнения (с)	Комментарий
1	2	3
Выполнение сегментов программ для запросов класса 1	0,16 0,08 0,04	Выполняемые без/с распараллеливанием
Выполнение сегментов программ для запросов класса 2	0,13 0,065 0,0325	Выполняемые без/с распараллеливанием

1	2	3
Работа с внешней памятью запросов класса 1	0,4	Среднее время для всех запросов
Работа с внешней памятью запросов класса 2	0,2	Среднее время для всех запросов
Время подготовки запросов пользователями 1-го и 2-го классов	10 15	

Другие характеристики, полученные в результате прототипирования, не приведены.

В результате моделирования получено большое число различных оценок для программ и вычислительного процесса, характеризующих принимаемые проектные решения.

Таблица 2

### Влияние распараллеливания выполнения процессов на время ответа ИС

Источники запросов	Процессы, потоки	Общая нагрузка на ЦП	Среднее время ответа (с)	С.к.о. времени ответа (с)
Терминальный модуль (7 терминалов)	Без распараллеливания	0,98	1.168	0,587
	С распараллеливанием		0,139	0,246
Терминальный модуль 2 (5 терминалов)	Без распараллеливания	0,52	8.814	6.314
	С распараллеливанием		2.074	2.157

Таким образом, организация параллельного выполнения сегментов программ существенно улучшает вероятностно-временные характеристики выполнения запросов обоих классов.

### Список литературы

1. Bingjian Liu. Integration of physical and virtual prototyping // Loughborough University, 2011. – 252 P.
2. Литвин В.Г., Чернышова Е.В., Литвин Ю. В. Оценка показателей работы вычислительной системы реального времени, содержащей узлы с параллельным выполнением процессов // Информационные технологии и вычислительные системы, №2, 2014. С. 16-25.

## БЕЗОПАСНОСТЬ В ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩАХ

*Пантелеев М.С., Авдеев П.И.*

студенты 2 курса магистратуры, кафедра «Прикладная и бизнес-информатика», ПКИТ (ф) ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)», Россия, г. Пенза

В статье идет речь об обеспечении безопасности данных при хранении в облачных хранилищах. Затронуты достоинства и недостатки этой модели хранения данных. Дана

характеристика гибридным криптосистемам и алгоритмам шифрования, которые эти системы могут комбинировать.

*Ключевые слова:* облачные хранилища, безопасность, гибридные криптосистемы, алгоритмы шифрования, симметричное, асимметричное, AES, RSA.

Облачное хранилище данных – это модель хранения данных на многочисленных распределенных серверах. В отличие от модели хранения данных на локальных устройствах или выделенных серверах, эта модель предоставляет в пользование клиентам свои ресурсы (серверы-хранилища) за плату.

У этой модели есть ряд преимуществ, в сравнении с другими моделями:

- Возможность доступа к данным с любого устройства;
- Возможность организации совместной работы с данными;
- Высокая вероятность сохранения данных в случае аппаратных сбоев;
- У клиента нет необходимости заниматься приобретением, поддержкой и обслуживанием собственной инфраструктуры по хранению данных;
- Все процедуры по резервированию и сохранению данных производятся провайдером «облачного» центра.

Но также у этой модели есть ряд недостатков, в сравнении с другими моделями:

- Абонентская плата за дополнительные возможности;
- Общая производительность при работе с данными в «облаке» ниже, чем при работе с данными, которые расположены локально;
- Безопасность при хранении и пересылке данных является одним из основных вопросов при работе с «облаком» [1].

Провайдер имеет возможность просматривать данные клиента, которые также могут попасть в руки злоумышленников.

Одним из самых надежных способов обеспечения безопасности данных является их шифрование, а именно гибридные криптосистемы.

Гибридная криптосистема – это система шифрования, которая совмещает преимущества криптосистем с открытым ключом с производительностью симметричных криптосистем.

Основной недостаток асимметричной криптографии состоит в низкой скорости из-за сложных вычислений, которые требуют ее алгоритмы, в то время как симметричная криптография обычно показывает высокую скорость работы. Однако симметричные криптосистемы имеют один существенный недостаток – ее использование предполагает наличие защищенного канала передачи ключей. Для нейтрализации этого недостатка прибегают к асимметричным криптосистемам, которые используют пару ключей: открытый и закрытый [2].

Одной из самых изученных и распространенных комбинаций симметричного и асимметричного шифрования являются AES и RSA алгоритмы.

Advanced Encryption Standard (AES) – симметричный алгоритм блочного шифрования. AES является стандартом, принятым правительством США, основанным на алгоритме Rijndael. Согласно Агентству национальной безопасности США, стойкость этого алгоритма является достаточной для защиты сведений, составляющих государственную тайну [3].

RSA (аббревиатура от фамилий Rivest, Shamir и Adleman) – это криптографический алгоритм с открытым ключом, основывающийся на вычислительной сложности задачи факторизации больших целых чисел. Криптосистема RSA стала первой системой, пригодной и для шифрования, и для цифровой подписи. Алгоритм используется в большом числе криптографических приложений, включая PGP, S/MIME, TLS/SSL, IPSEC/IKE и других [4].

Используя комбинацию этих алгоритмов, можно достичь достаточной степени безопасности данных, которые пользователь планирует хранить в облачном хранилище. Реализация этих алгоритмов будет представлена в следующей статье под названием «Реализация гибридной криптосистемы на C#».

#### Список литературы

1. <https://en.wikipedia.org> [Электронный ресурс]. – [https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_storage](https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_storage). – (дата обращения 27.10.2016).
2. <https://en.wikipedia.org/> [Электронный ресурс]. – [https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid\\_cryptosystem](https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_cryptosystem) – (дата обращения 27.10.2016).
3. <https://en.wikipedia.org> [Электронный ресурс]. – [https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Encryption\\_Standard](https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard). – (дата обращения 27.10.2016).
4. <https://simple.wikipedia.org/> [Электронный ресурс]. – [https://simple.wikipedia.org/wiki/RSA\\_\(algorithm\)](https://simple.wikipedia.org/wiki/RSA_(algorithm)) – (дата обращения 27.10.2016).

## ИТ-РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОНЛАЙН-ПРОДАЖ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГРУППЫ Б

*Полушкин Д.П.*

студент, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, г. Магнитогорск

*Сторожева Е.В.*

доцент кафедры «БИиИТ», ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, г. Магнитогорск

В статье рассказывается о выборе способа организации онлайн-продаж на предприятиях группы Б с помощью альтернативных решений.

*Ключевые слова:* онлайн-продажи, ит-решения, альтернативные решения, веб-разработка, предприятия группы Б.

В условиях падения курса рубля для любого бизнеса важно продолжать развиваться и находить новые рынки сбыта. При этом вынужденное сокращение затрат в связи с обозначенной ситуацией в области ИТ обязывает, чтобы внедряемые ИТ-решения были максимально эффективны, выгодны и

имели быстрый срок окупаемости, поэтому только такие проекты и будут осуществляться, остальные скорее всего будут заморожены на неопределенный срок.

Действенным способом повысить доходность и стабильность предприятий Группы Б (предприятия производящие предметы потребления) в сложившейся экономической ситуации при условии, что этого не было еще ранее сделано, является внедрение онлайн-продаж. Такие продажи способны существенно расширить потребительскую аудиторию организации как в сегменте B2B, так и в B2C (гораздо больший охват аудитории по сравнению с традиционными продажами, доступность сайта 24/7 в сети интернет с информацией о продукции, ценах и условиях, возможность организации доставки продукции в любую точку страны, благодаря развитому транспортному сектору в РФ), как следствие это должно увеличить прибыль, что благоприятно скажется на экономической стабильности предприятия.

Метод альтернативных решений для внедрения ИТ-проектов обозначает следующие возможные варианты для организации онлайн-продаж:

1. Приобретение готового решения;
2. Адаптация имеющегося на предприятии решения;
3. Разработка проекта силами сторонней организации;
4. Разработка проекта силами сотрудников организации.

Изначально было оговорено, что на предприятии ранее не были организованы онлайн-продажи, поэтому необходимо сразу исключить пункт 2 представленного перечня. Пункты 3 и 4, предполагают разработку проекта от начала и до конца, от идеи до программно-аппаратной реализации, такой путь, к сожалению, практически всегда является максимально затратным, хотя и более интересным с точки зрения конечного функционала и возможностей, что в далекой перспективе возможно как-то оправдает себя, но в ситуации вынужденной экономии его трудно экономически обосновать и просчитать (ввиду неопределённости конечных затрат и полученного на выходе результата). Таким образом, остается лишь один альтернативный вариант – это приобретение готового решения.

Выбор готового решения для организации онлайн-продаж может быть сделан из одного из вариантов, представленных на рисунке.

Первая ветка на рисунке один это решение о создании веб-сайта в виде интернет-магазина (много товаров и категорий) или лэндинг-пейджа (один товар, или одна группа очень сходных товаров). Интернет-магазин можно реализовать как на готовом коммерческом решении, например, 1С-Битрикс, NetCat, UMI.CMS, PHP-SHOP, SHOP-SCRIPT, AMIRO.CMS, так и на бесплатном Opencart, Joomla +VirtueMart, Magento, PrestaShop. Коммерческие продукты можно приобретать, либо оплачивая продукт полностью, либо оплачивая ежемесячную аренду.

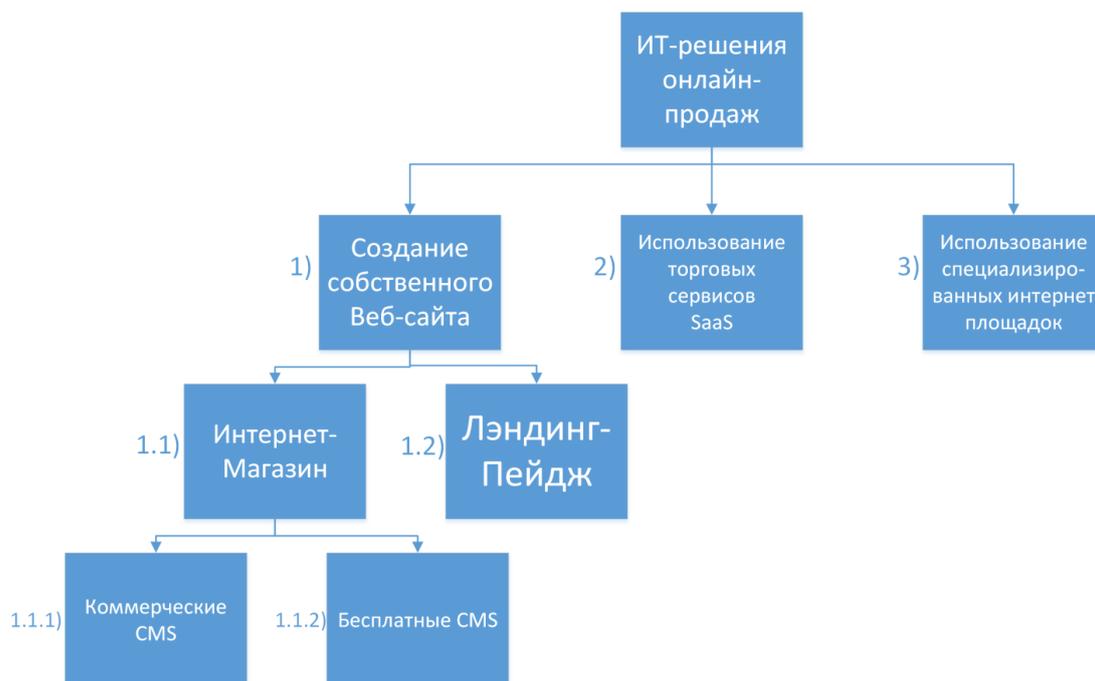


Рис. Готовые решения для организации онлайн-продаж

Вторая ветка предлагает использовать торговые сервисы, работающие по принципу SaaS. Сегодня вовсе не обязательно покупать CMS, думать о хостинге, его администрировании, развертывании CMS, обновлениях. Можно использовать уже готовый настроенный сервис по продажам на чужом сервере, который будут обслуживать, и администрировать высококлассные специалисты. От продавца требуется только загрузить товар с ценами и магазин уже работает. Такие услуги оказывают – Amiro CMS, Insales, AdvantShop, Nethouse и другие.

Третья ветка посвящена использованию специализированных интернет площадок для реализации товаров. К таким площадкам относятся, прежде всего электронные аукционы – eBay, Alibaba, доски объявлений – Avito, Slando – все они предлагают для продавцов специальные аккаунты и условия по продаже товаров как по фиксированной цене, так и по плавающей, кроме того, как правило продавец может оформить по-своему свою страничку и получить статический url на неё, который он может сообщать заинтересованным клиентам.

Какой именно способ организации онлайн продаж выбрать конкретному предприятию зависит от многих факторов – цели, задачи, бюджет, специфика продукции и тип покупателей. Конечно, каждое из представленных решений имеет свои сильные и слабые стороны. Важно просчитать и оценить экономическую выгоду от каждого направления и только затем сделать правильный выбор.

### Список литературы

1. Измайлов Д.Г., Сторожева Е.В. Применение метода информационная экономика для оценки экономической эффективности WEB-приложения/ Д.Г. Измайлов, Е.В. Сторожева // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине /

Сборник научных трудов II Международной конференции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2015. С. 304-304.

2. Сторожева Е.В. Хамутских Е.Ю. К вопросу об актуальности оценки эффективности внедрения информационных систем в предприятия малого и среднего бизнеса / Е.В. Сторожева, Е.Ю. Хамутских Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине / Сборник научных трудов II Международной конференции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2015. С 299-301.

3. Потапова Е.А., Сторожева Е.В. Оценка эффективности проектов / Е.А. Потапова, Е.В. Сторожева // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине / Сборник научных трудов II Международной конференции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2015. С. 357-359.

4. Кручинина В.С., Сторожева Е.В. Оценка эффективности работы персонала, работающего над проектом разработки и внедрения Web-сайта с помощью KPI метода / В.С. Кручинина, Е.В. Сторожева //Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ-2015). Сборник докладов IV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 95-летию кафедры и университета. 2015. С. 298-302.

## **МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*Попов И.Л.*

аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, Россия, г. Москва

В статье произведен анализ методов обеспечения живучести сетей мобильной радиосвязи на основе технологий GSM/UMTS/WCDMA, приведены методы оценки показателей живучести в условиях чрезвычайной ситуации на железнодорожном транспорте. Представлены превентивные методы обеспечения живучести.

*Ключевые слова:* живучесть, безопасность, чрезвычайная ситуация, сотовые сети связи, устойчивость, перегрузки, железнодорожный транспорт.

Железнодорожный транспорт – один из видов транспорта наиболее приспособленных к массовым перевозкам. При всех положительных факторах для этого вида транспорта существует высокая вероятность возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС). Поэтому предупреждение и ликвидация ЧС на железнодорожном транспорте является одним из важнейших вопросов.

Сеть мобильной сотовой связи является самым востребованным и общедоступным видом связи. Для организации сетей подвижной радиосвязи на железнодорожном транспорте часто используется сеть общего пользования операторов мобильной связи. В условиях возникновения ЧС, поражающей определенную территорию и сегмент транспортной инфраструктуры, покрытие, пропускная способность и живучесть сети в данном районе жизненно необходимы для ликвидации последствий: координации действий спецслужб, спасения людей, проведения спасательных мероприятий и др.

Живучесть сети является одним из важнейших аспектов надежности услуг связи. При возникновении ЧС сеть подвижной радиосвязи должна восстанавливать свои функции как можно быстрее. Задача живучести – предоставление услуг в случае неисправностей или сбоев системы, а также возможность полного своевременного восстановления при отказе [1]. В условиях ЧС могут возникнуть две основные проблемы, влияющие на доступность и устойчивость связи: перегрузки и пропадание связи.

Как правило, перегрузки возникают из-за большого количества запросов абонентов на соединение за один период времени в пределах одной соты.

Пропадание связи, в первую очередь связано с поражающими факторами, приводящими к неработоспособности элементов сети.

Рассмотрим ряд методов, способных влиять на доступность, устойчивость, и как следствие, на живучесть работы сетей сотовой связи в условиях ЧС.

### **Перегрузки**

Перегрузки в сетях. Отказы из-за перегрузок возникают, когда не хватает свободных каналов передатчика базовой станции соты TRX (transmitter/receiver – приёмо-передатчик). Как правило, в густонаселенных районах, а также в районах крупных транспортных узлов каждая базовая станция сотовой сети оснащается несколькими передатчиками (от 2-х до 12-ти), каждый из которых может обслуживать до 8 каналов в режиме FR (Full-Rate – режим использования всей емкости слота) и до 16 в режиме HR (Half-Rate – режим, при котором емкость слота бьется пополам между двумя абонентами).

Сотовые сети третьего поколения, в сравнении с сетями предыдущих поколений, реагируют на перегрузки несколько иначе. При возникновении ситуации, когда сота не способна обслужить вызовы всех абонентов, происходит «сжатие» площади покрытия (функция AC – admission control) или «сброс» абонентов, находящихся на максимальной площади покрытия 3G, в зону покрытия 2G [2,3].

CDEF (установленный размер) – параметр, устанавливаемый в подсистеме BSS (Base Station System) на уровне BTS (Base Transceiver Station) совместно с параметрами CMAX (максимальный размер) и CDED (минимальное значение). CDEF определяет количество таймслотов, занимаемых под передачу данных таймслотов. Все три параметра задаются в процентах от общего количества FR-каналов на TRX с  $GTRX=Y$ .

Алгоритм занятия FR и HR каналов при различных размерах DEF зоны способствует увеличению доли пакетного трафика при малой голосовой нагрузке в режиме Half-Rate, поскольку DEF зона не уменьшается из-за занятости голосовых каналов, пока не будут заняты все HR каналы. Алгоритм позволяет устанавливать минимальную долю пакетного трафика, ниже которой голосовой трафик не вытесняет из общего трафика полосы (как правило, это 1 таймслот).

### **Соседства**

Понятие «соседства» в сотовой сети означает совокупность базовых станций (БС), зоны покрытия сот которых пересекаются либо теоретически

могут пересекаться. Прописка соседств между БС осуществляется с расчетом на максимальный ТА (Timing Advance – значение распространения полезного покрытия в км) соты. В качестве предупредительной меры прописываются соседства со всеми сотами близлежащих БС, теоретически достижимых при пересечении границ зоны покрытия [2]. Такой подход оказывает негативное воздействие на успешность хэндоверов: возникают случаи, когда соединение передается в соту, недостижимую при данной мощности БС.

Прописка соседств в конфигурации БС – процесс, который осуществляется вручную, поэтому очень важно заранее оптимизировать возможные соседства. В случае, когда будет необходимо увеличить мощность отдельных сот, иначе при возникновении ЧС на это может быть затрачено слишком много времени.

### **Распределение нагрузки**

На основании вышеизложенного, можно сформировать перечень мер, способных минимизировать проблему обслуживания нагрузки при поражении элементов радиосети.

1. Уменьшение значения параметра CDED/CDEF, что позволит освободить дополнительные таймслоты, особенно в крупных сотах;

2. Прописка соседств с учётом максимального полезного ТА сот. Данная мера позволит передавать соединения внутри поврежденного кластера наиболее быстро;

3. Для загруженных сот целесообразно устанавливать алгоритм DR для всех таймслотов соты по умолчанию;

4. Увеличение мощности передатчиков. Для этого случая важно, чтобы частотный план исключал повторяющиеся и смежные частоты во избежание возникновения канальной интерференции и интермодуляционных помех;

5. Изменение маршрута в случае, когда поврежден маршрутизатор или контроллер базовых станций – BSC\RNC. При назначении альтернативного маршрута нужно учитывать емкость трансмиссионных потоков, то есть выбирать оптимальный путь, при котором загруженность PCU не превышает 85-90%. Для сетей третьего поколения при расширении учитывается схема организации потоков: ATM или IP. Ширина полосы пропускания (ШПП) потока к каждой БС составляет порядка 30 000 Мбит. В случае ATM используется вся полоса, в отличие от IP, где ограничение SDH составляет 8 Мбит и не изменяется;

6. Использование второй несущей для сетей третьего поколения. При наличии свободных канальных элементов на БС, включение второй несущей позволит уменьшить блокировки по AC (Admission Control) и увеличить объем обслуживаемого трафика. Важно учитывать также топологию размещения БС, обслуживаемых одним BSC\RNC. Существует три основных топологии: последовательное соединение MDC (Multi Drop Chain), параллельное MDL (Multi Drop Loop) и точечное P2P (Point to Point) [3].

### **Заключение**

В статье рассмотрены шесть методов обеспечения живучести кластера, три из которых носят превентивный характер. При проведении проектных

работ по размещению базовых станций и формированию частотных планов предлагается учитывать параметры, обеспечивающие работу сегмента сети в случаях ЧС на железнодорожном транспорте или близких к ним.

Эффективность рассмотренных методов зависит от многих факторов [4]: от архитектуры кластера, от типов базовых станций, от характера ЧС и др., в среднем применение таких методов позволит повысить успешность установления голосовых вызовов в 2G – до 45%, а в 3G – до 20%, для пакетных сессий – 15% и 25%, соответственно.

#### Список литературы

1. Ромашкова О.Н., Дедова Е.В. Живучесть беспроводных сетей связи в условиях чрезвычайной ситуации // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2014. – №6. 40-43 с.
2. Горелов Г.В., Маркачев С.А., Попов И.Л., Самойлов В.Е. К определению зоны эстафетной передачи в сетях сотовой связи технологии многостанционного доступа с кодовым разделением // Проектирование и технология электронных средств, ISSN 2071–9809, 2015. – № 2. 51–55 с.
3. 3GPP: Technical Specification Group Core Network Mobile Application Part (MAP) specification (3G TS29.002 version 3.3.0 Release 99). – 1999. 1234 с.
4. Попов И.Л. Энергетический потенциал и дальность связи в радиолинии с ничтожными шумами многолучёвости // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23269>.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

***Рахчеев В.Г.***

профессор кафедры «Путь и путевое хозяйство», д-р техн. наук, профессор,  
Самарский государственный университет путей сообщения,  
Россия, г. Самара

***Тропанова Н.Г.***

аспирант кафедры «Путь и путевое хозяйство»,  
Самарский государственный университет путей сообщения,  
Россия, г. Самара

В статье рассматривается новый способ шлифования рельсов рельсошлифовочным поездом, основанный на синхронизации износа рабочей поверхности абразивного круга. Применение данного способа позволяет повысить качество обрабатываемых поверхностей.

*Ключевые слова:* шлифование рельсов, абразивный круг.

В системе ведения рельсового хозяйства профильное шлифование в настоящее время становится одним из приоритетных направлений. Профилактическое шлифование позволяет предупредить появление дефектов поверхности катания, не допустить (или существенно отдалить) развитие в

рельсах дефектов контактно-усталостного характера, а также устранить повышенную шероховатость поверхности катания [1]. Перечень устраняемых посредством шлифования дефектов рельсов включает следующие виды: волнообразный износ, седловник, пробоксовки, механические повреждения, расплющивание, смятие, пластические деформации головки, отслоение и выкрашивание металла на рабочей выкружке головки, сбитые концы рельсов в стыках, неровности в сварных стыках, дефекты, возникающие вследствие нарушений технологий изготовления.

В результате удаления поверхностных дефектов снижаются вертикальные динамические силы, шум и вибрации, увеличивается срок службы рельсов, происходит существенное удлинение цикла выправки пути в плане и профиле. Кроме этого, уменьшаются расходы по содержанию и ремонтам подвижного состава и увеличиваются сроки его службы благодаря уменьшению усталости деталей и узлов подвижного состава.

Из всего многообразия технологий, применяющихся для восстановления служебных свойств рельсов и продлений их ресурса, наиболее эффективной и производительной является шлифование рельсов рельсошлифовочным поездом. Современное рельсошлифовочное оборудование позволяет в процессе работы устранять дефекты и формировать новый поперечный профиль головки рельса за счет наклона приводных электродвигателей на различные углы в плоскости, перпендикулярной продольной оси рельса. Таким образом, каждый взятый в отдельности шлифовальный круг, обрабатывая поверхность катания головки рельса, оставляет за собой след-дорожку шлифования. Недостатком данной технологии является то, что на различных участках головки рельса формируется дорожка шлифования различной ширины и на этих участках, соответственно, действует различная удельная нагрузка на единичное зерно абразивного круга. Осмотр отшлифованной поверхности рельса показал изменение профиля головки рельса и наличие различной шероховатости на ее отдельных участках.

Одним из путей обеспечения одинаковой величины толщины слоя металла, снимаемого единичным зерном, на протяжении всего периода шлифования вплоть до полного износа круга является использование шлифовальных кругов с прерывистой рабочей поверхностью, позволяющих изменить длины их рабочих поверхностей. Однако существующие конструкции прерывистых абразивных кругов не обеспечивают при шлифовании рельсов синхронизирующего износа своей рабочей поверхности, а, следовательно, и высокой точности формы профиля головки рельсов.

Для повышения точности шлифования рельсов в пути предложен новый способ, основанный на синхронизации износа рабочей поверхности абразивного круга. Данный способ, в настоящее время, находится в стадии патентования. Поэтому, приведём лишь результаты его экспериментального исследования, не раскрывая сущности и технической особенности.

Задачей экспериментальных исследований являлось выявление эффективности нового способа шлифования, разработанного на основе результатов теоретических исследований. Оценка эффективности производилась путем

сопоставления результатов нового способа шлифования, основанного на применении прерывистых абразивных кругов и установлении рациональных углов шлифования головки рельсов, и существующего способа шлифования сплошными абразивными кругами по основным показателям точности и качества поверхности.

Как показали наши исследования, показатели по точности нетермоупрочненных, поверхностно упрочненных и термоупрочненных по всему сечению типов рельсов Р50, Р65 и Р75, обработанных новым способом шлифования, близки между собой. Поэтому, чтобы не перегружать статью излишним объемом экспериментального материала покажем здесь лишь наиболее характерные результаты исследований при обработке термоупрочненных рельсов по всему сечению типа Р65. Эти рельсы имеют наиболее широкое применение в звеньевом и бесстыковом пути. Располагая данными таких экспериментов, представляется возможным характеризовать эффективность нового способа шлифования рельсов.

Из полученных результатов следует, что новый способ шлифования поверхности катания головки рельса по сравнению с существующим способом обеспечивает повышение ее точности формы. Так, средние значения отклонений поперечного профиля головки рельсов при анализируемых способах шлифования составляет соответственно: при существующем – 0,78 мм и новом – 0,32мм. Следовательно, новый способ шлифования повышает точность формы обработанных рельсов в 2,43 раза. Такое резкое отличие отклонений поперечного профиля головки рельсов как по величине, так и по очертанию, является следствием различных условий съема металла при шлифовании.

При шлифовании новым способом, за счет применения прерывистых абразивных кругов и рациональных углов их установки, обеспечивается стабилизация взаимодействия инструмента на поверхность катания рельса. При этом, ширина дорожки шлифования, независимо от угла наклона шлифовального круга, остается постоянной. Это также благоприятно сказывается на равномерности износа рабочей поверхности шлифовального круга. В результате очертание профиля рельса после шлифования соответствует очертанию нового, а это сказывается на увеличении срока их службы.

**Выводы.**

1. Результаты экспериментальных исследований нового способа шлифования рельсов железнодорожного пути, разработанного на принципе стабилизации воздействия инструмента на поверхности катания, показали высокую эффективность в повышении качества обрабатываемых поверхностей.

2. Экспериментально установлено, что новый способ относительно существующего способа шлифования рельсов обеспечивает: повышение точности формы по отклонению поперечного профиля головки рельса в 2,43 раза и прямолинейности рельса в вертикальной плоскости в 2,3 раза, твердости обработанной поверхности в 1,2 раза и снижение шероховатости поверхности в 2,6 раза.

### Список литературы

1. Абдурашитов А.Ю. Профильное шлифование рельсов. М. Транспорт. 2001. 79 с.

## СТРУКТУРНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ИМЕЮЩЕГО ДВЕ ПОЗИТИВНО- КОНТУРНЫЕ, ВЕРШИННУЮ И ПОЗИТИВНУЮ СВЯЗИ

*Савельев Н.Д.*

магистрант кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры»,  
Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

*Успанов М.Ж.*

старший техник учебного авиационного центра кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей»,  
Военный институт Сил воздушной обороны Республики Казахстан им. Т.Я. Бегельдинова, Казахстан, г. Актобе

*Кармишин В.С.*

магистрант кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры»,  
Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

Приведено обоснование достоверности структурно-разностных определений элемента вибрационно размытого изображения, имеющего две позитивно-контурные, вершинную и позитивную пары направлений.

*Ключевые слова:* сегментация изображений, структура разностей, логический функционал, пиксель.

В публикациях [1-2, 7-9] развивается метод измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения материальной точки на поверхности объекта контроля, основанный на измерении и анализе геометрических параметров следа вибрационного размытия изображения круглой метки, в геометрическом центре которой исследуемая материальная точка и находится. След вибрационного размытия изображения круглой метки представляет собой нечеткое полутоновое изображение. Для того, чтобы обработать его методом, развиваемым в публикациях [1-2, 7-9], необходимо адекватно преобразовать его в четкое бинарное изображение. Для этого применяется принцип структурно-разностной бинаризации полутоновых изображений [3-6]. Представляет интерес следующая ситуация (табл.).

Таблица

**Структурно-разностное описание элемента  
растрового изображения**

$c$	$P_{i,j,c}$	$P_{i,j,c+4}$	пара направлений
1	1	2	позитивно-контурная
2	2	1	позитивно-контурная
3	2	2	вершинная
4	0	2	позитивная

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает позитивная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к позитивным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рисунок).

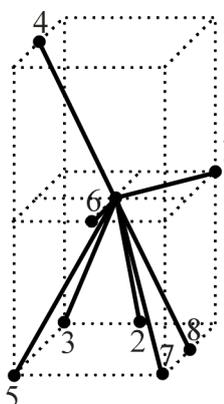


Рис. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

*Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.*

#### Список литературы

1. Григорьев А.В., Алмаметов В.Б., Долотин А.И., Царев А.Г., Беликов Г.Г., Гришко А.К. Методика калибровки системы трехкомпонентного измерения параметров вибраций на основе анализа геометрии следа размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 16-19.
2. Григорьев А.В., Данилова Е.А., Бростилов С.А., Наумова И.Ю., Лапшин Э.В., Баранов А.А. Структура методики измерения параметров вибраций по следу размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 13-16.
3. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ внутренних элементов плоского сегмента полутонового растрового изображения // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 24-27.
4. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ контурных элементов плоской вершины на протяженном убывающем склоне растровой поверхности // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 27-30.
5. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Об ограничениях уровнево-пороговой сегментации полутоновых растровых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 18-21.
6. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 21-24.
7. Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Андреев П.Г., Таньков Г.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее компланарном и ортогональном виброперемещениях // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 107-109.

8. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Затылкин А.В., Горячев Н.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее произвольном виброперемещении // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 109-112.

9. Кочегаров И.И., Моисеев С.А. Бесконтактное измерение вибрации // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т 2. С. 298-300.

## **ИТ-ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ**

*Сиделев А.А.*

заместитель директора, Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Камышинский технический колледж»,  
Россия, г. Камышин

Рассмотрены наиболее известные информационные системы, применяемые в образовательных учреждениях, реализующих программы среднего профессионального образования.

*Ключевые слова:* информационные системы, образование.

Вопрос автоматизации процессов управления образовательными учреждениями всегда является актуальным. Однако, в настоящее время, на рынке программного обеспечения можно выделить лишь несколько наиболее известных программных продуктов предназначенных для автоматизации учебного процесса в учреждениях реализующих программы среднего профессионального образования. И лишь немногие из них предназначены для автоматизации не просто отдельных участков, а целого ряда комплекса вопросов, касающихся управлением учебным процессом в учреждении.

Одним из самых распространенных продуктов предназначенных для автоматизации управления учебным процессом является комплекс программ, разработанный лабораторией математического моделирования и информационных систем [1]. Этот комплекс состоит из отдельных подсистем, которые могут работать как самостоятельно, так и в комплексе с другими, автоматически обмениваясь информацией.

В состав этого комплекса входят подсистемы – планирование, успеваемость, контроль знаний, расписание, студенты, абитуриенты.

Подсистема «расписание» имеет восемь основных модификаций, предназначенных для различных учебных заведений. Для колледжей, техникумов и профессиональных училищ предназначена AVTOR College, для вузов (очная форма обучения) AVTOR High School и т.д.

Система AVTOR College позволяет составлять семестровое расписание.

Диспетчер образовательного учреждения самостоятельно должен определить количество пар, выдаваемых по предмету на той или иной неделе. При этом возможности установить последовательность выдачи лекций, прак-

тических и лабораторных занятий, а также списка преподавателей, которые будут вести эти занятия, очень ограничены.

Учебные планы, нагрузки и график учебного процесса

1 курс | 2 курс | 3 курс | 4 курс | 5 курс | 6 курс | Основной корпус: 1

ФИО РОП: \_\_\_\_\_ Ауд.: \_\_\_\_\_ Начало: \_\_\_\_\_

ВСЕГО | Лекц | Практ | Лаб | Фак. | ПО | Экз. | Классный час | Уч. групп

N	Дисциплина	Даты	Всего	Даты											
				31.8	7.9	14.9	21.9	28.9	5.10	12.1	19.1	26.1	2.11	9.11	16.1
				1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я	9-я	10-я	11-я	12-я
1	Русский язык и литература	34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	История	54	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
3	Основы безопасности жизнедеятельности	34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Культура молодого рабочего														
5	Математика	48	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
6	Физика	54	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
7	Информатика	10									1	1	1	1	1

Рис. Учебные планы для семестровой версии программы

В случае необходимости замены одной дисциплины в расписание занятий на другую и отсутствия свободных преподавателей на данную пару, имеющих учебную нагрузку в данной группе, решение о том, кого из преподавателей можно освободить и каким образом, диспетчер образовательного учреждения должен принимать самостоятельно.

В настоящее время большую популярность в образовательных учреждениях среднего профессионального образования приобретает информационная система «1С:Колледж» [2].

Это связано не только с ее возможностями, такими как объединение в единой информационной базе таких подсистем как – приемная комиссия, учебная часть, воспитательная работа, методическая работа и т.д. Этому способствует и то, что информационная система создана на платформе 1С:Предприятие 8.2, что позволяет осуществлять работу в ней пользователей в том числе и через Интернет по низкоскоростным каналам связи, а также то, что фирма 1С имеет широкую сеть поддержки через фирмы-франчайзи. Помимо этого наличие в учебном заведении специалистов в области 1С, позволяет этим учебным заведениям самостоятельно модифицировать систему под свои нужды в связи с открытостью кода.

Самым большим недостатком этой системы является практически полное отсутствие возможностей автоматизированной работы с расписанием учебных занятий в подсистеме «Учебная часть». Информацию о расписании учебных занятий пользователь должен вводить самостоятельно, предварительно каким-то образом составив его.

В то же время фирма 1С совместно с ООО «Актив ПМ» разработали программный продукт «1С:Автоматизированное составление расписания Колледж» [3].

Эта система имеет много недостатков, связанных не только с очень ограниченным набором отчетов, которые необходимы диспетчеру образовательного учреждения для оперативного отслеживания ситуации в данном вопросе, но и возможностей для подготовки качественного расписания.

## **Вывод**

Таким образом, необходимо создание новых программных продуктов либо модификация существующих, которые бы позволили не только осуществлять обработку информации связанной с организацией учебного процесса в целом, но и решить проблемы, с которыми диспетчер образовательного учреждения сталкивается при составлении семестрового расписания занятий.

### **Список литературы**

1. Программные продукты лаборатории ММИС [Электронный ресурс]. – <http://www.mmis.ru/Default.aspx?tabid=156> – (дата обращения 15.10.2016)
2. Программный продукт 1с колледж [Электронный ресурс]. – <http://www.1c-college.ru/> – (дата обращения 12.10.2016)
3. Программный продукт 1С:Автоматизированное составление расписания. Колледж [Электронный ресурс]. – [http://solutions.1c.ru/asp\\_spo](http://solutions.1c.ru/asp_spo) – (дата обращения 12.10.2016)

## **ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОПРОНИКНОВЕНИЯ ДВУХ ПОЗИТИВНЫХ И ДВУХ ВЕРШИННЫХ СТРУКТУР НА ГРАНИЦЕ СЕГМЕНТА ВИБРАЦИОННО РАЗМЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

*Успанов М.Ж.*

старший техник учебного авиационного центра кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и авиационных двигателей»,  
Военный институт Сил воздушной обороны Республики  
Казахстан им. Т.Я. Бегельдинова, Казахстан, г. Актобе

*Кармишин В.С., Савельев Н.Д.*

магистранты кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры»,  
Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

Приведено обоснование достоверности структурно-разностных определений элемента вибрационно размытого изображения, имеющего две позитивные и две вершинные пары направлений.

*Ключевые слова:* сегментация изображений, структура разностей, логический функционал, пиксель.

В публикациях [1-2, 7-9] развивается метод измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения материальной точки на поверхности объекта контроля, основанный на измерении и анализе геометрических параметров следа вибрационного размытия изображения круглой метки, в геометрическом центре которой исследуемая материальная точка и находится. След вибрационного размытия изображения круглой метки представляет собой нечеткое полутоновое изображение. Для того, чтобы обработать его методом, развиваемым в публикациях [1-2, 7-9], необходимо адекватно преобразовать его в четкое бинарное изображение. Для этого применяется принцип структурно-разностной бинаризации полутоновых изображений [3-6]. Представляет интерес следующая ситуация (табл.).

Таблица

**Структурно-разностное описание элемента  
растрового изображения**

$c$	$p_{i,j,c}$	$p_{i,j,c+4}$	пара направлений
1	0	2	позитивная
2	2	0	позитивная
3	2	2	вершинная
4	2	2	вершинная

Наивысшим приоритетом в данной структурной последовательности обладает позитивная пара направлений. Таким образом, данный элемент следует отнести к позитивным.

Графически это описание интерпретируется следующим образом (рисунок).

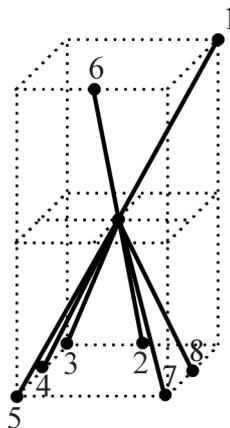


Рис. Графическая интерпретация структурно-разностного описания элемента

*Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Разработка методов и средств создания высоконадежных компонентов и систем бортовой радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» (Соглашение № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.) при финансовой поддержке Российского научного фонда.*

**Список литературы**

1. Григорьев А.В., Алмаметов В.Б., Долотин А.И., Царев А.Г., Беликов Г.Г., Гришко А.К. Методика калибровки системы трехкомпонентного измерения параметров вибраций на основе анализа геометрии следа размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 16-19.
2. Григорьев А.В., Данилова Е.А., Бростилов С.А., Наумова И.Ю., Лапшин Э.В., Баранов А.А. Структура методики измерения параметров вибраций по следу размытия изображения круглой метки // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 13-16.
3. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ внутренних элементов плоского сегмента полутонового растрового изображения // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 24-27.
4. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Горизонтально-положительный анализ контурных элементов плоской вершины на протяженном убывающем склоне растровой поверхности // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 27-30.

5. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Об ограничениях уровнево-пороговой сегментации полутоновых растровых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 18-21.

6. Григорьев А.В., Држевецкий А.Л., Баннов В.Я., Трусов В.А., Кособоков А.С. Принцип негативно-контурной классификации растровых элементов полутоновых изображений // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2014. Т. 2. С. 21-24.

7. Григорьев А.В., Трусов В.А., Баннов В.Я., Андреев П.Г., Таньков Г.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее компланарном и ортогональном виброперемещениях // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 107-109.

8. Григорьев А.В., Юрков Н.К., Кочегаров И.И., Затылкин А.В., Горячев Н.В. Моделирование следа размытия изображения круглой метки при ее произвольном виброперемещении // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 109-112.

9. Кочегаров И.И., Моисеев С.А. Бесконтактное измерение вибрации // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 298-300.

## **ЗАПАС ПРОЧНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ С ЗАГЛУШКАМИ ПРИ ВЫСОКОМ ВНУТРЕННЕМ ДАВЛЕНИИ**

*Хоркин В.Н.*

кандидат технических наук, доцент,

Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
Россия, г. Калуга

Представлен аналитический метод расчета технологических параметров процессов труб большого диаметра с заглушками при высоком внутреннем давлении (гидроиспытания): критического давления в трубе и размеров пластической и упругой зон в стенке трубы при закритических давлениях. На всех стадиях процесса рассматривается модель упругопластической среды. Результаты исследования могут быть использованы при разработке технологии производства стальных труб большого диаметра для магистральных трубопроводов.

*Ключевые слова:* сварные стальные трубы большого диаметра, гидроиспытания, модель упругопластической среды, магистральные трубопроводы.

**Введение.** Обязательным технологическим процессом производства труб большого диаметра является гидроиспытание трубы на прочность [1–97]. При этом внешние наружные торцы трубы фиксируются гидрозаглушками (труба с «доньшками») и внутрь трубы подается вода под большим давлением. Гидроиспытания проводят в упругой зоне деформации стенки трубы. Однако, при чрезмерном внутреннем давлении стенка трубы может испытывать пластическую деформацию и даже разорваться. Разрыв труб также может произойти при наличии дефектов в стенке труб [1–6, 26, 34, 36, 37].

**Напряжения и деформации в стенке трубы при внутреннем давлении.** Рассмотрим длинную толстостенную трубу под действием внутреннего давления  $p_a$  (рис. 1), стенка которой находится в состоянии однородного рас-

тяжения.

Пусть  $h$ ,  $D$ ,  $d = D - 2h$ ,  $a = d/2$ ,  $b = D/2 = a + h \gg h$  – толщина стенки трубы, внешний и внутренний диаметры трубы, внутренний и внешний радиусы трубы. В цилиндрической системе координат  $(r, \theta, z)$  уравнения равновесия трубы, граничные условия и решение задачи имеют вид [3, 5, 6]

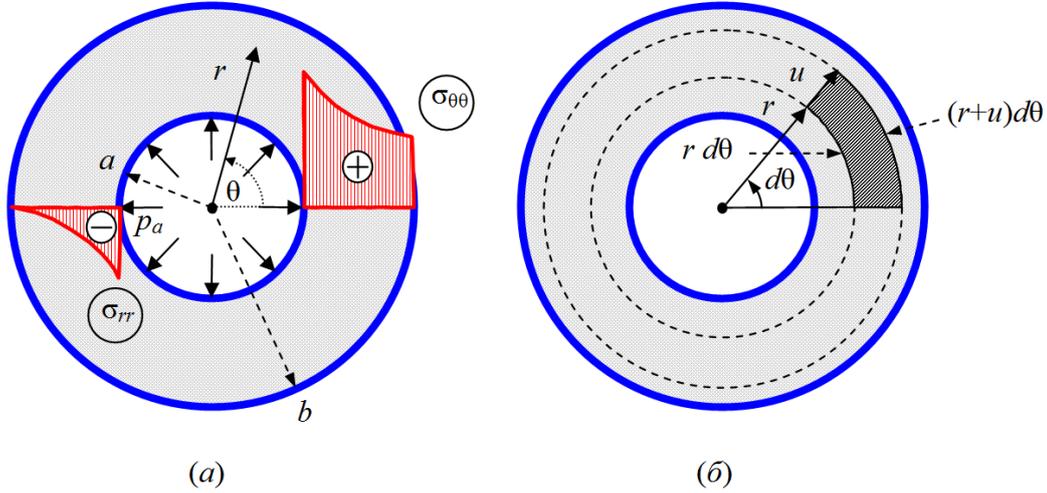


Рис. 1. Эпюры радиальных и тангенциальных нормальных напряжений в стенке трубы (а) и радиальные перемещения точек и внутри трубы (б)

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} = 0, \quad \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial r} + \frac{2\sigma_{r\theta}}{r} = 0;$$

$$\sigma_{rr}(a) = -p_a, \quad \sigma_{rr}(b) = 0; \quad \sigma_{rr}(r) = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right), \quad \sigma_{\theta\theta}(r) = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2}\right),$$

$$\sigma_{r\theta}(r) = 0, \quad \sigma_{rr}(r) + \sigma_{\theta\theta}(r) = \frac{2p_a a^2}{b^2 - a^2} = \text{const},$$

$$\sigma_{rr}(a) = -p_a, \quad \sigma_{rr}(b) = 0, \quad \sigma_{\theta\theta}(a) = \frac{p_a(a^2 + b^2)}{b^2 - a^2}, \quad \sigma_{\theta\theta}(b) = \frac{2p_a a^2}{b^2 - a^2},$$

$$\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} \approx \frac{p_a D}{2} \left(1 - 3\frac{h}{D}\right), \quad \sigma_{rr}\left(a + \frac{h}{2}\right) \approx -\frac{p_a}{2} \left(1 - 3\frac{h}{D}\right),$$

$$\sigma_{\theta\theta}\left(a + \frac{h}{2}\right) \approx \frac{p_a D}{2} \left(1 - 2\frac{h}{D}\right), \quad \sigma_{\theta\theta}(a) \approx \frac{p_a D}{2} \left(1 - \frac{h}{D}\right), \quad \sigma_{\theta\theta}(b) \approx \frac{p_a D}{2} \left(1 - 3\frac{h}{D}\right),$$

где  $\sigma_{rr}$ ,  $\sigma_{\theta\theta}$  и  $\sigma_{r\theta}$  – радиальное, окружное и касательное напряжения.

Для «бесконечно» длинной трубы (рис. 2, а)  $\sigma_z = 0$ .

Для длинной трубы с «доньшками» (длина трубы  $l \gg b$ ) (рис. 2, б)

$$\sigma_z = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} = \frac{p_a D \left(1 - 2\frac{h}{D}\right)^2}{4h \left(1 - \frac{h}{D}\right)} = \text{const} \approx \frac{p_a D}{4} \left(1 - 3\frac{h}{D}\right).$$

Компоненты тензора деформаций и обобщенный закон Гука имеют вид [3, 5, 6]

$$\varepsilon_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r}, \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u_r}{r}, \quad \varepsilon_{r\theta} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r} \right);$$

$$\varepsilon_{rr} = \frac{1}{E} (\sigma_{rr} - \nu \sigma_{\theta\theta} - \nu \sigma_z), \quad \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{E} (\sigma_{\theta\theta} - \nu \sigma_{rr} - \nu \sigma_z), \quad \varepsilon_{r\theta} = \frac{(1+\nu)}{E} \sigma_{r\theta} = 0,$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $u_r$  и  $u_\theta$  – радиальное и окружное перемещения точек стенки трубы.

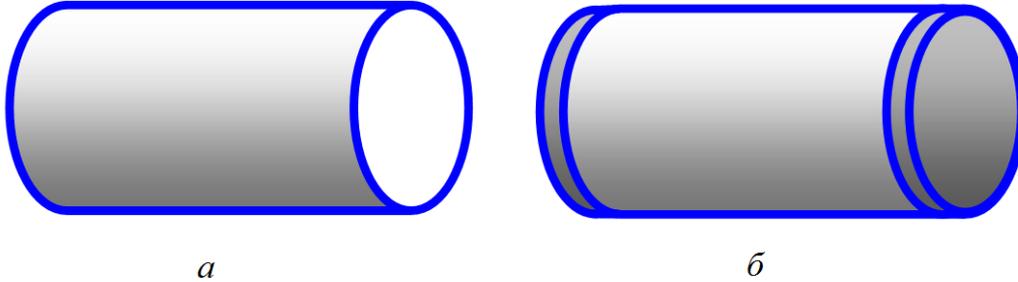


Рис. 2. Бесконечно длинная труба (а) и труба с «доньшками» (б)

Для бесконечно длинной трубы ( $\sigma_z = 0$ ) радиальное перемещение

$$u_r = r\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{r}{E} (\sigma_{\theta\theta} - \nu \sigma_{rr}); \quad u_r(r) = \frac{p_a a^2}{E(b^2 - a^2)} \left( (1-\nu)r + (1+\nu)\frac{b^2}{r} \right);$$

$$u_r(a) = \frac{p_a a \left( (1-\nu)a^2 + (1+\nu)b^2 \right)}{E(b^2 - a^2)}; \quad u_r(a) \approx \frac{p_a D^2}{4Eh} \left( 1 + (-3+2\nu)\frac{h}{D} \right),$$

$$u_r(b) = \frac{2p_a a^2 b}{E(b^2 - a^2)}, \quad u_r\left(a + \frac{h}{2}\right) \approx \frac{p_a D^2}{4Eh} \left( 1 + (-3+\nu)\frac{h}{D} \right), \quad u_r(b) \approx \frac{p_a D^2}{4Eh} \left( 1 - 3\frac{h}{D} \right).$$

Для длинной трубы с «доньшками» (длина трубы  $l \gg b$ )

$$\sigma_z = \frac{p_a a^2}{b^2 - a^2} = \text{const}; \quad u_r = r\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{p_a a^2}{E(b^2 - a^2)} \left( (1-2\nu)r + (1+\nu)\frac{b^2}{r} \right),$$

$$u_r = r\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{p_a a^2}{E(b^2 - a^2)} \left( (1-2\nu)r + (1+\nu)\frac{b^2}{r} \right),$$

$$u_r(a) \approx \frac{p_a D^2}{4Eh} \left( \left( 1 - \frac{\nu}{2} \right) + \left( -3 + \frac{3\nu}{2} \right) \frac{h}{D} \right), \quad u_r(b) \approx \frac{p_a D^2}{4Eh} \left( \left( 1 - \frac{\nu}{2} \right) + \left( -3 - \frac{\nu}{2} \right) \frac{h}{D} \right),$$

$$u_r\left(a + \frac{h}{2}\right) \approx \frac{p_a D^2}{4Eh} \left( \left( 1 - \frac{\nu}{2} \right) + \left( -3 + \frac{\nu}{2} \right) \frac{h}{D} \right).$$

**Условия возникновения пластической деформации на внутренней поверхности трубы.** По *третьей теории прочности* (теории наибольших касательных напряжений) внутренняя поверхность трубы будет находиться в пластическом состоянии, если

$$\sigma_{\theta\theta}(a) - \sigma_{rr}(a) = \frac{2p_a b^2}{b^2 - a^2} \geq \sigma_T, \quad p_a^{\text{критич}} = \sigma_T \frac{(b^2 - a^2)}{2b^2} = 2\sigma_T \frac{h}{D} \left( 1 - \frac{h}{D} \right),$$

где  $p_a^{\text{критич}}$  – критическое давление на внутренней поверхности трубы, где  $\sigma_T$  – предел текучести материала трубы.

Критические давления для трубы диаметром  $D = 1420$  мм с пределом текучести  $\sigma_T = 500$  МПа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критические давления трубы									
$h$ , мм	12	16	20	24	28	32	36	40	44
$p_a^{\text{критич}}$ , МПа	8,38	11,14	13,89	16,62	19,33	22,03	24,71	27,38	30,03

Для бесконечно длинной трубы (гидроиспытания трубы на трассе) по четвертой теории прочности (энергетической теории прочности) внутренняя поверхность трубы будет находиться в пластическом состоянии, если выполняется критерий Мизеса:

$$\begin{aligned}
 & (\sigma_{\theta\theta}(a) - \sigma_{rr}(a))^2 + \sigma_{\theta\theta}(a)^2 + \sigma_{rr}(a)^2 \geq 2\sigma_T^2, \\
 & \left( \frac{2p_a b^2}{b^2 - a^2} \right)^2 + \left( \frac{p_a(a^2 + b^2)}{b^2 - a^2} \right)^2 + p_a^2 \geq 2\sigma_T^2, \quad \frac{p_a^2}{(b^2 - a^2)^2} (3b^4 + a^4) \geq \sigma_T^2, \\
 & p_a^{\text{IV,критич}} = \sigma_T \frac{(b^2 - a^2)}{\sqrt{3b^4 + a^4}} = \sigma_T \frac{4}{\sqrt{3 + \left(1 - 2\frac{h}{D}\right)^4}} \frac{h}{D} \left(1 - \frac{h}{D}\right) \approx 2\sigma_T \frac{h}{D},
 \end{aligned}$$

где  $p_a^{\text{IV,критич}}$  – критическое давление на внутренней поверхности «бесконечно» длинной трубы.

Критические давления для трубы диаметром  $D = 1420$  мм с пределом текучести  $\sigma_T = 500$  МПа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Критические давления трубы									
$h$ , мм	12	16	20	24	28	32	36	40	44
$p_a^{\text{IV,критич}}$ , МПа	8,45	11,26	14,08	16,89	19,70	22,51	25,31	28,11	30,91

Для трубы с доньями (гидроиспытания трубы на заводе) по четвертой теории прочности (энергетической теории прочности) внутренняя поверхность трубы будет находиться в пластическом состоянии, если выполняется критерий Мизеса:

$$\begin{aligned}
 & (\sigma_{\theta\theta}(a) - \sigma_{rr}(a))^2 + (\sigma_{\theta\theta}(a) - \sigma_z(a))^2 + (\sigma_{rr}(a) - \sigma_z(a))^2 \geq 2\sigma_T^2, \\
 & \left( \frac{2p_a b^2}{b^2 - a^2} \right)^2 + \left( \frac{p_a b^2}{b^2 - a^2} \right)^2 + \left( \frac{p_a b^2}{b^2 - a^2} \right)^2 \geq 2\sigma_T^2, \quad \frac{p_a b^2}{b^2 - a^2} \geq \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_T, \\
 & p_a^{\text{IV,критич}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_T \frac{b^2 - a^2}{b^2} = \frac{4}{\sqrt{3}} \sigma_T \frac{h}{D} \left(1 - \frac{h}{D}\right) \approx 2,309 \sigma_T \frac{h}{D} \left(1 - \frac{h}{D}\right),
 \end{aligned}$$

где  $p_a^{\text{IV,критич}}$  – критическое давление на внутренней поверхности трубы с доньями.

Критические давления для трубы диаметром  $D = 1420$  мм с пределом текучести  $\sigma_T = 500$  МПа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Критические давления трубы									
$h$ , мм	12	16	20	24	28	32	36	40	44
$p_a^{\text{IV,критич}}$ , МПа	9,68	12,86	16,03	19,19	22,32	25,44	28,53	31,61	34,67

Из четвертой теории прочности следует важный вывод, что при гидроиспытаниях на заводе (труба с доньшками) труба может выдержать большее внутреннее давление, чем при гидроиспытаниях той же трубы на трассе (труба без доньшек). Этот факт следует, учитывать при гидроиспытаниях магистральных трубопроводов.

**Предел пластического сопротивления трубы по теории Сен-Венана – Мизеса.** Условие пластичности по третьей теории прочности (теории наибольших касательных напряжений) имеет вид  $\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{rr} = \sigma_T$ . Пусть труба находится в идеально пластическом состоянии (теория Сен-Венана – Мизеса, диаграмма Прандтля):

$$\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{rr} = \sigma_T = \text{const.}$$

Уравнение равновесия трубы в радиальном направлении, граничные условия и решение задачи имеют вид [3, 5, 6]

$$r \frac{d\sigma_{rr}}{dr} = \sigma_{\theta\theta} - \sigma_{rr} = \sigma_T = \text{const}, \quad \sigma_{rr}(a) = -p_a, \quad \sigma_{rr}(b) = 0;$$

$$p_T = p_a = \sigma_T \ln \frac{b}{a} = \sigma_T \ln \frac{D}{d} = \sigma_T \ln \frac{1}{\left(1 - 2 \frac{h}{D}\right)}, \quad p_T = p_a \approx 2\sigma_T \frac{h}{D} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{h}{D}\right),$$

где  $p_T$  – предел пластического сопротивления трубы, нагруженной только внутренним давлением. При  $p_a < p_T$  наблюдается устойчивое упруго-пластическое равновесие трубы. При  $p_a \geq p_T$  равновесие трубы становится неустойчивым.

Предел пластического сопротивления для трубы диаметром  $D = 1420$  мм с пределом текучести  $\sigma_T = 500$  МПа приведен в табл. 4.

Таблица 4

**Пластическое сопротивление трубы**

$h$ , мм	12	16	20	24	28	32	36	40	44
$p_T$ , МПа	8,52	11,40	14,29	17,19	20,12	23,06	26,02	28,99	31,99
$(p_T - p_a^{\text{критич}})/p_T$ , %	1,7	2,2	2,8	3,4	3,9	4,5	5,0	5,6	6,1

Из вышеприведенной таблицы видно, что предел пластического сопротивления трубы  $p_T$  мало отличается от критического давления  $p_a^{\text{критич}}$ , при котором внутренняя поверхность трубы переходит в пластическое состояние (отличие составляет менее 2–6%).

**Упругопластическое состояние стенки толстостенной трубы.** Рассмотрим случай, когда внутреннее давление в трубе меньше предела пластического сопротивления трубы, но больше предела упругого сопротивления (рис. 3). В этом случае в поперечном сечении труба будет иметь две зоны: пластическую внутреннюю ( $a \leq r \leq c$ ,  $c = a + \Delta c$ ,  $\Delta c \ll a$ ) и упругую наружную ( $c < r \leq b$ ).

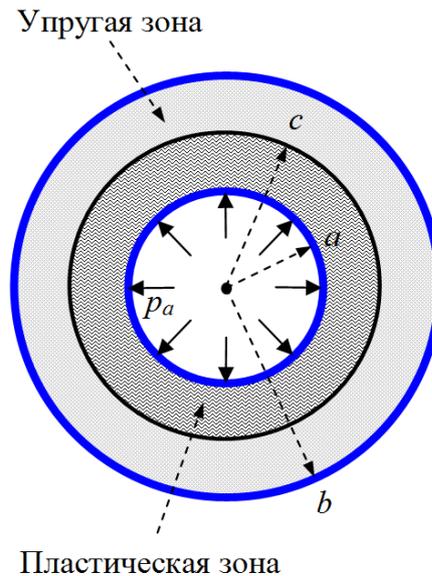


Рис. 3. Внутренняя пластическая и внешняя упругая зоны трубы

Уравнение для границы между упругой и пластической зонами имеет вид [3, 5, 6]

$$p_a = \sigma_T \left( \ln \left( \frac{b}{a} \cdot \frac{c}{b} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{c}{b} \right)^2 + \frac{1}{2} \right).$$

Численно решив это нелинейное уравнение относительно  $c/b$ , найдем границу  $r = c$  между пластической и упругой зонами.

Из вышеполученных результатов следует, что разрушение стенки трубы под действием внутреннего давления начинается на внутренней поверхности трубы и далее распространяется в сторону внешней ее поверхности.

**Критерий разрыва стенки трубы по теории пластического течения.**

По третьей теории прочности разрушение внутренней поверхности трубы (резкое уменьшение толщины стенки трубы и появление на внутренней поверхности трубы трещин, приводящих к разрыву трубы) начнется, когда максимальные касательные напряжения на ней достигнут предела прочности материала трубы  $\sigma_B$ :

$$\sigma_{\theta\theta}(a) - \sigma_{rr}(a) = \frac{2p_a b^2}{b^2 - a^2} \geq \sigma_B, \quad p_{sh}^{разрыва} = \sigma_B \frac{(b^2 - a^2)}{2b^2} = 2\sigma_B \frac{h}{D} \left( 1 - \frac{h}{D} \right).$$

Давление разрыва для трубы диаметром  $D = 1420$  мм с пределом текучести  $\sigma_B = 600$  МПа приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Давление разрыва трубы**

$h$ , мм	12	16	20	24	28	32	36	40
$p_{sh}^{разрыва}$ , МПа	10,06	13,37	16,66	19,94	23,20	26,43	29,65	32,85
$p_{sh}^{разрыва}$ , атм	99,2	131,9	164,5	196,8	228,9	260,9	292,6	324,2
$p_T$ ( $\sigma_T = 500$ МПа), атм	84,1	112,5	141,0	169,7	198,5	227,6	256,8	286,1
$p_{sh}^{разрыва} - p_T$ , атм	15,1	19,4	23,5	27,1	30,4	33,3	35,8	38,1
$(p_{sh}^{разрыва} - p_T)/p_{sh}^{разрыва}$ , %	15,2	14,7	14,3	13,8	13,3	12,8	12,2	11,8

Из вышеприведенной таблицы следует, что предел пластического со-

противления трубы дает заниженную оценку критического давления (на 11–15 % или на 15–40 атм ниже), при котором реально разрушается труба. Это объясняется тем фактом, что реально стенка трубы при внутреннем давлении  $p_a = p_t$  находится не в идеально пластическом состоянии (диаграмма Прандтля, теория Сен-Венана – Мизеса), как предполагается при выводе предела пластического сопротивления трубы  $p_t$ , а в упругопластическом состоянии. Поэтому при  $p_a = p_t$  упругие составляющие упругопластической деформации стенки трубы не дают ей разрушиться. Реальное разрушение трубы происходит при несколько больших внутренних давлениях трубы  $p_a$ , когда максимальные касательные напряжения на внутренней поверхности трубы достигают предела прочности материала трубы  $\sigma_v$ .

*Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.ф.-м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (НИТУ «МИСиС») за обсуждение статьи и ценные замечания.*

### Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. 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.
9. 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.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467-472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356-361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225-229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.

14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53-56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45-49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12-19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77-81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14-16.

35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25-29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21-26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19-24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3-1. С. 64-67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4-1. С. 114-119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5-1. С. 96-99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6-1. С. 115-118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7-1. С. 74-78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8-1. С. 78-83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9-1. С. 73-77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямильной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса

- при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листоправильной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 102-110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листоправильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листоправильной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироликовая листоправильная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.
65. Шинкин В.Н. Шестироликовая листоправильная машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 68-75.
66. 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.
67. 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.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного прессы SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5-3 (5). С. 112-115.
69. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26-34.
70. 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.
71. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42-48.

72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38-42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74-84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84-93.
77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101-110.
78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50-58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91-100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 107-112.
81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 112-119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-1. С. 131-139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 133-141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 141-149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 127-134.
86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 135-143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 118-127.
88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 127-136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.
90. 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.
91. 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.
92. 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.

93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.

94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопривальной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-125.

95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 125-134.

96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 134-142.

97. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60-76.

## **К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ДЕФЕКТА ВКАТАННЫЙ МЕТАЛЛ НА ПРОЧНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ДАВЛЕНИИ**

*Хоркин В.Н.*

кандидат технических наук, доцент,  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
Россия, г. Калуга

Предложен критерий упругопластического разрушения стальных труб большого диаметра при дефекте вкатанный металл. Результаты исследования могут быть использованы при диагностике причин разрушения стальных труб большого диаметра магистральных газонефтепроводов.

*Ключевые слова:* стальные сварные трубы большого диаметра, критическое давление разрыва трубы, дефект вкатанный металл, модель упругопластической сплошной среды.

**Статистика аварий газонефтепроводов.** Среднее число инцидентов и аварий за 1999–2009 гг., приходящихся на 1000 км российских магистральных трубопроводов, составило 0,06 отказов в год. Основными причинами аварий в течение 2001–2006 гг. стали: внешние воздействия – 34,3%, брак монтажно-строительных работ – 23,2%, стресс коррозия (коррозийное растрескивание при напряжении) – 22,5%, сталеплавильный брак металла и дефекты труб при их изготовлении – 14,1%, ошибочные действия персонала – 3%.

Ежегодно из-за стресс коррозии и усталостного разрушения от циклических перепадов внутритрубных давлений из нефтепроводов вытекает 10–15 млн т нефти из добываемых в России 305 млн т ( $\approx 4\text{--}5\%$ ). Только от прямых потерь нефти экономический ущерб достигает 270 млн долл. в год.

Плотность распределения дефектов стресс коррозии на магистральных нефтепроводах составляет 14,6 деф./км. Скорость стресс коррозии на их значительной части равна 0,2–0,5 мм/год, но имеет место и большая

скорость – 0,8–1,16 мм/год. За 1991–2001 г. число аварий на газопроводах России по причине стресс коррозии было 22,5% от общего числа аварий, а в 2000 г. – 37,4%.

**Производство труб большого диаметра по схеме JCOE.** В отечественных магистральных трубопроводах используются трубы большого диаметра – прямошовные, двухшовные и спиральношовные (диаметром до 1420 мм) класса прочности до K65 различного способа изготовления. Новейшими мировыми инновационными технологиями производства прямошовных одношовных сварных труб большого диаметра 1020 мм, 1220 мм и 1420 мм из сталей класса прочностей K38–K65 и X42–X80, с толщиной стенки до 52 мм, длиной до 18 м и рабочим давлением до 22,15 МПа являются процессы по схеме JCOE, разработанные немецкой фирмой SMS MEER [1–97].

Технологии SMS MEER широко используют российские трубные заводы – АО «Выксунский металлургический завод», ЗАО «Ижорский трубный завод», ОАО «Челябинский трубопрокатный завод», а также заводы Германии, Китая и Индии.

**Стресс коррозия металла стенок труб.** Статистика аварий российских трубопроводов показывает, что стресс коррозия металла стенок труб в основном происходит именно на трубопроводах большого диаметра 700–1420 мм. Причем свыше 80% разрушений трубопроводов с признаками стресс коррозии наблюдается на трубопроводах диаметром 1020–1420 мм.

Основной причиной коррозионно-механического растрескивания металла стенок труб является совместное действие трех факторов: 1) низкое сталеплавильное качество металла и заводские дефекты – большие остаточные напряжения, микротрещины и микрорасслоения металла после формовки трубной заготовки, гофры, риски, раскатные пригары, несплавления сварного шва и так далее; 2) наличие коррозионно-активной среды и ее доступ к поверхности металла; 3) многоцикловая усталость и разрушение металла от пульсаций внутритрубных рабочих давлений и гидроударов.

**Производственные дефекты производства труб из стального листа.** На отечественных нефтепроводах почти в два раза больше, чем в США и Европе, отказов из-за заводских дефектов и брака строительно-монтажных работ. Поэтому необходимо тщательно изучать причины известных случаев отказа трубопроводов из-за производственного брака.

Перед формовкой труб стальной лист правят на многороликовых листопрямляющих машинах [1–97]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [1, 2, 26], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса на процесс экспандирования трубы – в [1, 2, 35], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе – в [1, 2, 36], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы – в [1, 2, 34].

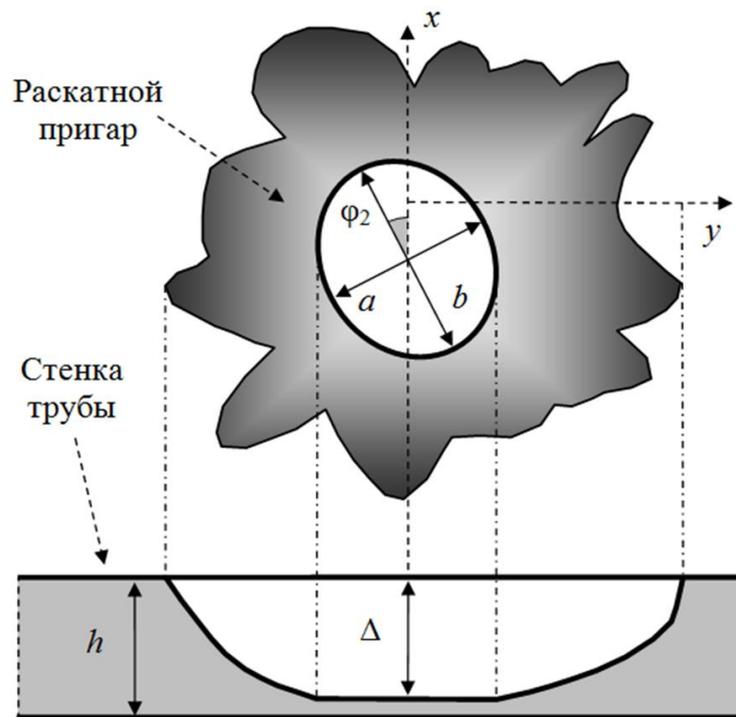


Рис. 1. Дефект вкатанный металл на внешней поверхности трубы

**Критерий упругопластического разрыва трубы при дефекте вкатанный металл.** Вкатанный металл – дефект поверхности стального листа в виде тёмного пятна неправильной формы, образовавшийся от раската куска металла, приварившегося к слябу из-за нарушения технологии разливки или упавшего на поверхность листа при горячей прокатке.

Пусть  $p$  – внутреннее давление трубы;  $h$  и  $D$  – толщина стенки и внешний диаметр трубы ( $h \ll D$ ),  $\sigma_v$  – предел прочности материала трубы;  $a$ ,  $b$  и  $\Delta$  – продольный и поперечный размеры раскатного пригара и глубина пригара в стенке трубы ( $\Delta < h$ ),  $\varphi$  – угол наклона «продольной оси» пригара к окружности поперечного сечения трубы (рис. 1).



Рис. 2. Дефект вкатанный металл разорванной трубы

Под действием внутреннего давления металл стенки трубы в зоне де-

фекта вкатанный металл испытывает сложное сопротивление: окружное растяжение, радиальное сжатие и концентрацию напряжений. Внешняя стенка трубы разрушается, когда максимальные касательные напряжения достигают половины предела прочности  $\sigma_v$ . Разрушение стенки трубы при дефекте вкатанный металл происходит при достижении в трубе критического давления:

$$p \geq p_{sh}^{\text{критич}} = \frac{\sigma_v}{\mu \left\{ \frac{D}{2h} \left[ 1 + \frac{2\Delta}{h} \left( \sqrt{\frac{a}{b}} \cos \varphi + \sqrt{\frac{b}{a}} \sin \varphi \right) \right] + 1 \right\}},$$

где  $\mu = \text{const} \geq 1$  – экспериментальный безразмерный коэффициент.

**Пример разрушения трубы газопровода.** На рис. 2 показана разгерметизация стальной трубы газопровода с образованием сквозного дефекта. Геометрические и прочностные характеристики разорванной трубы:  $D = 720$  мм,  $h = 11$  мм,  $\sigma_v = 684$  МПа,  $a = 20$  мм,  $b = 25$  мм,  $\varphi = 34,3^\circ$  и  $\Delta = 10$  мм. Инцидент произошел при рабочем давлении  $p^{\text{разрыва}} = 5,7$  МПа. Применяя критерий разрыва трубы при дефекте вкатанный металл при  $\mu = 1$ , получаем критическое давление разрыва трубы равно  $p_{sh}^{\text{критич}} = 5,94$  МПа,  $(p_{sh}^{\text{критич}} - p^{\text{разрыва}})/p^{\text{разрыва}} = 4,2$  %, что хорошо согласуется с эмпирическими данными разрыва реальной трубы.

*Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.ф.-м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (НИТУ «МИСиС») за обсуждение статьи и ценные замечания.*

#### Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359-365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361-366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой

- машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467-472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликковый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликковой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356-361.
  12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225-229.
  13. Шинкин В.Н. Шестироликковый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
  14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
  15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
  16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
  17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
  18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
  19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
  20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
  21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
  22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликковой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
  23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
  24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
  25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
  26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
  27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
  28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53-56.
  29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45-49.
  30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12-19.

31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. С. 77-81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. С. 14-16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. С. 25-29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. С. 21-26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19-24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3-1. С. 64-67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4-1. С. 114-119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5-1. С. 96-99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6-1. С. 115-118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7-1. С. 74-78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8-1. С. 78-83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 9-1. С. 73-77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 12-2. С. 246-251.

50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листопрямительной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 102-110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямительная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.
65. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямительная машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 68-75.
66. 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.
67. 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.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5-3 (5). С. 112-115.

69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38-42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74-84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84-93.
77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101-110.
78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50-58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91-100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 107-112.
81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 112-119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-1. С. 131-139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 133-141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 141-149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 127-134.
86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 135-143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 118-127.
88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 127-136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.
90. 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.

91. 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.

92. 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.

93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.

94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-125.

95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 125-134.

96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 134-142.

97. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60-76.

## **К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПРУЖИНЕНИЯ СТАЛЬНОГО БРУСА И ЛИСТА ПРИ ЛИНЕЙНОМ УПРОЧНЕНИИ МЕТАЛЛА**

*Хоркин В.Н.*

кандидат технических наук, доцент,  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
Россия, г. Калуга

Получен коэффициент пружинения бруса и листа для упругопластической среды с линейным упрочнением в зависимости от ширины и толщины листа, предела текучести, модуля Юнга и модуля упрочнения металла. Полученные результаты могут быть применены при формовке стальных труб большого диаметра на прессах.

*Ключевые слова:* формовка стального бруса и листа, коэффициент пружинения, упругопластический изгиб, формовочный пресс.

**Основные обозначения.** После формовки стального бруса, металлических пластин и листов они частично распружинивают [1–97]. Для того чтобы вычислить геометрию этих тел после формовки необходимо знать коэффициент пружинения (распружинивания) для упругопластической среды с линейным упрочнением.

Рассмотрим упругопластический изгиб металлического листа (бруса) шириной  $b$  и толщиной  $h$ . Пусть  $E$  – модуль Юнга,  $\sigma_T$  – предел текучести и  $\sigma_B$  – предел прочности (временное сопротивление) металла листа,  $\varepsilon_{ост}$  – остаточная деформация листа после снятия внешних нагрузок.

Пусть  $\rho$  – радиус кривизны продольной упругой линии изогнутого листа и  $\rho/h \geq 5$ . В этом случае утонением стенки листа можно пренебречь ( $h = \text{const}$ ). Пусть при изгибе справедлива гипотеза плоских сечений Бернулли – плоские поперечные сечения листа до деформации остаются плоскими при деформации. Тогда кривизна продольных волокон листа  $\varepsilon = y/\rho$ , где  $y$  – расстояние от нейтральной плоскости листа при его изгибе. Максимальное относительное удлинение  $\varepsilon_{\text{max}}$  имеет место на поверхности листа и равно  $\varepsilon_{\text{max}} = (h/2)/\rho = h/(2\rho)$ .

**Упругопластический изгиб листа.** На рис. 1 показана диаграмма продольных (нормальных) напряжений для упругопластической среды с линейным упрочнением, где  $\sigma_{\text{max}} = \sigma_T + \Pi(\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_T)$ ,  $\Pi$  – модуль упрочнения среды.

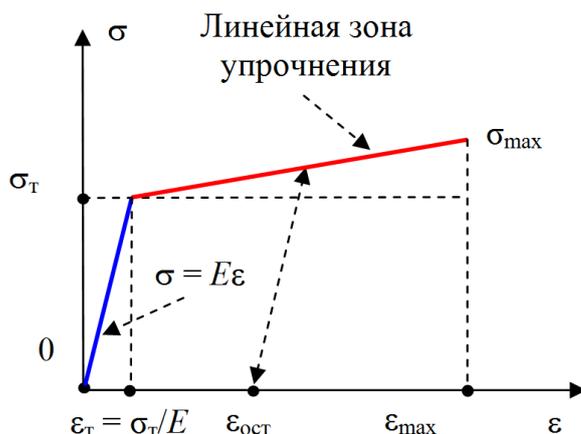


Рис. 1. Упругопластическая среда с линейным упрочнением

Эпюра нормальных напряжений в поперечном сечении листа показана на рис. 2.

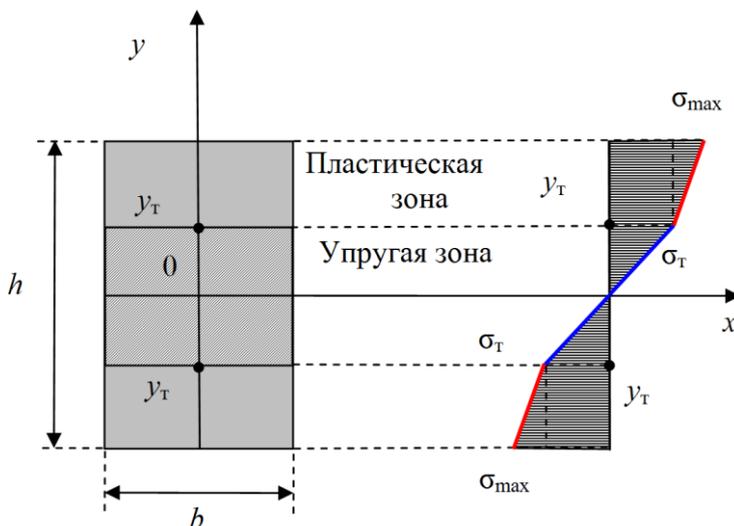


Рис. 2. Напряжения в поперечном сечении листа при изгибе

Поперечное сечение листа делится на две зоны – упругую и пластическую. Величина  $y_T$ , определяющая границу этих зон, находится из выражения:  $y_T = \varepsilon_T \rho = \sigma_T \rho / E$ . При увеличении изгибающего момента и кривизны упругая зона листа будет уменьшаться.

**Изгибающий момент при формовке металлического листа.** Изгибающий момент  $M$  в поперечном сечении листа равен

$$\begin{aligned}
 M &= \int_{-h/2}^{h/2} y \sigma(y) b dy = 2b \int_0^{h/2} y \sigma(y) dy = 2b \int_0^{y_T} y \sigma(y) dy + 2b \int_{y_T}^{h/2} y \sigma(y) dy = \\
 &= 2b \int_0^{y_T} y \frac{E}{\rho} y dy + 2b \int_{y_T}^{h/2} y \left[ \sigma_T + \frac{\sigma_{\max} - \sigma_T}{\frac{h}{2} - y_T} (y - y_T) \right] dy = \\
 &= 2b \frac{E}{\rho} \int_0^{y_T} y^2 dy + 2b \int_{y_T}^{h/2} y \left[ \sigma_T + \frac{\Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} (y - y_T) \right] dy = \\
 &= 2b \frac{E}{\rho} \frac{y_T^3}{3} + 2b \int_{y_T}^{h/2} y \left[ \left\{ \sigma_T - \frac{\Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} y_T \right\} + \frac{\Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} y \right] dy = \\
 &= 2b \frac{E}{\rho} \frac{y_T^3}{3} + 2b \left\{ \sigma_T - \frac{\Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} y_T \right\} \int_{y_T}^{h/2} y dy + 2b \left\{ \frac{\Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} \right\} \int_{y_T}^{h/2} y^2 dy = \\
 &= 2b \frac{E}{\rho} \frac{y_T^3}{3} + 2b \left\{ \sigma_T - \frac{\Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} y_T \right\} \left( \frac{h^2}{4} - y_T^2 \right) + \frac{2b \Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} \left( \frac{h^3}{8} - y_T^3 \right) = \\
 &= 2b \frac{E}{\rho} \frac{y_T^3}{3} + b \sigma_T \left( \frac{h^2}{4} - y_T^2 \right) - \\
 &\quad - \left\{ \frac{b \Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} y_T \right\} \left( \frac{h^2}{4} - y_T^2 \right) + \frac{2b \Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} \left( \frac{h^3}{8} - y_T^3 \right) = \\
 &= \frac{2}{3} b \sigma_T y_T^2 + \frac{1}{4} b \sigma_T h^2 - b \sigma_T y_T^2 - \frac{b \Pi y_T}{\rho} \left( \frac{h^2}{4} - y_T^2 \right) + \frac{2b \Pi}{\rho} \left( \frac{h^3}{8} - y_T^3 \right) = \\
 &= \frac{1}{4} b \sigma_T h^2 - \frac{1}{3} b \sigma_T y_T^2 - \frac{b \Pi y_T}{\rho} \left( \frac{h}{2} - y_T \right) \left( \frac{h}{2} + y_T \right) + \frac{2b \Pi}{3\rho} \left( \frac{h}{2} - y_T \right) \left( \frac{h^2}{4} + \frac{h y_T}{2} + y_T^2 \right) = \\
 &= \frac{1}{4} b \sigma_T h^2 - \frac{1}{3} b \sigma_T y_T^2 + \frac{b \Pi}{\rho} \left( \frac{h}{2} - y_T \right) \left( -\frac{h y_T}{2} - y_T^2 + \frac{h^2}{6} + \frac{h y_T}{3} + \frac{2 y_T^2}{3} \right) = \\
 &= \frac{1}{4} b \sigma_T h^2 - \frac{1}{3} b \sigma_T y_T^2 + \frac{b \Pi}{\rho} \left( \frac{h}{2} - y_T \right) \left( \frac{h^2}{6} - \frac{h y_T}{6} - \frac{y_T^2}{3} \right), \\
 M &= \frac{1}{4} b h^2 \sigma_T - \frac{1}{3} b \rho^2 \frac{\sigma_T^3}{E^2} + \frac{b \Pi}{6} \left( \frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \left( h^2 - h \rho \frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2 \frac{\sigma_T^2}{E^2} \right),
 \end{aligned}$$

$$M = \frac{1}{4}bh^2\sigma_T - \frac{1}{3}b\rho^2\frac{\sigma_T^3}{E^2} + \frac{b\Pi}{3\rho}\left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_T\rho}{E}\right)^2\left(h + \frac{\sigma_T\rho}{E}\right).$$

Если при растяжении и сжатии металл листа имеет разные модули упрочнения, то

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

$$M = \frac{1}{4}bh^2\sigma_T - \frac{1}{3}b\rho^2\frac{\sigma_T^3}{E^2} + \frac{b(\Pi_p + \Pi_c)}{6\rho}\left(\frac{h}{2} - \frac{\sigma_T\rho}{E}\right)^2\left(h + \frac{\sigma_T\rho}{E}\right).$$

где  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – модули упрочнения металла листа при растяжении и сжатии.

Полученной формулой можно пользоваться только в зоне упругопластических деформаций листа, когда

$$M \geq \frac{1}{6}bh^2\sigma_T.$$

**Кривизна листа.** Действительно, при чисто упругих деформациях листа, когда пластическая зона отсутствует, кривизна определяется по формулам, выведенным в предположении о линейной зависимости  $\sigma$  и  $\varepsilon$ :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI_x} = \frac{12M}{Eh^3b}, \quad M = \frac{Eh^3b}{12\rho}.$$

Чисто упругие деформации листа наблюдаются, если

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} < \sigma_T, \quad M < \frac{1}{6}bh^2\sigma_T.$$

Зависимость кривизны  $1/\rho$  от момента  $M$  показана на рис. 3.

Из полученных выше выражений можно найти остаточную кривизну нейтральной плоскости листа  $\rho_{ост}$ , которую лист сохраняет после разгрузки:

$$\frac{1}{\rho_{ост}} = \frac{1}{\rho} - \frac{12M}{Eh^3b}.$$

где  $M$  – величина изгибающего момента при нагрузке.

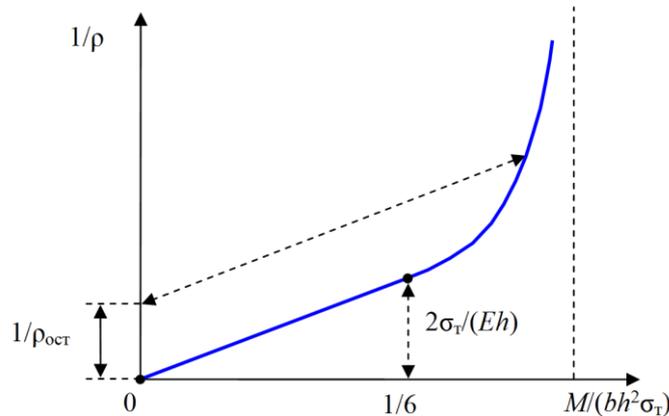


Рис. 3. Зависимость кривизны от изгибающего момента

**Коэффициент пружинения листа.** Остаточный радиус кривизны нейтральной плоскости листа  $\rho_{ост}$  и коэффициент пружинения нейтральной плоскости листа  $\beta$  определяются из уравнений

$$\beta = \frac{1}{1 - \left[ \frac{3\rho\sigma_T}{hE} - \frac{4\rho^3\sigma_T^3}{h^3E^3} + \frac{\rho(\Pi_p + \Pi_c)}{h^3E} \left( \frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \left( h^2 - h\rho\frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2\frac{\sigma_T^2}{E^2} \right) \right]},$$

$$\beta = \frac{1}{1 - \left[ 3\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right) - 4\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right)^3 + \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{2E} \left( 1 - 3\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right) + 4\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right)^3 \right) \right]},$$

$$\rho_{ост} = \beta\rho,$$

$$\frac{1}{\rho_{ост}} = \frac{1}{\rho} - \frac{3\sigma_T}{hE} + \frac{4\rho^2\sigma_T^3}{h^3E^3} - \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{h^3E} \left( \frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_T}{E} \right) \left( h^2 - h\rho\frac{\sigma_T}{E} - 2\rho^2\frac{\sigma_T^2}{E^2} \right),$$

$$\frac{1}{\rho_{ост}} = \frac{1}{\rho} - 3\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right) + 4\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right)^3 - \frac{(\Pi_p + \Pi_c)}{2E} \left( 1 - 3\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right) + 4\left( \frac{\rho\sigma_T}{hE} \right)^3 \right).$$

**Остаточные напряжения в стенке листа.** Остаточные напряжения показаны на рис. 4.

Наибольшие остаточные напряжения равны

$$\sigma_{ост}^1 = \sigma_T + \Pi(\varepsilon_{max} - \varepsilon_T) - \frac{6M}{bh^2}, \quad \sigma_{ост}^2 = \sigma_T - \frac{12M\sigma_T\rho}{bh^3E}.$$

Отметим, что полученные остаточные напряжения являются самоуравновешенными – после разгрузки нормальная сила и изгибающий момент поперечного сечения листа равны нулю.

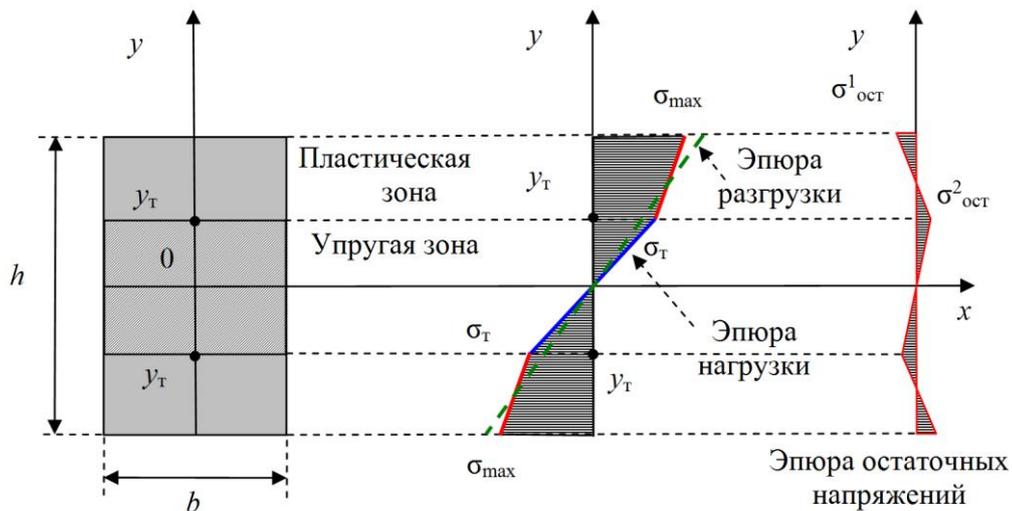


Рис. 4. Остаточные напряжения после распруживания листа

**Изгиб стального листа при формовке труб большого диаметра.** Вышеполученные результаты могут быть применены при формовке стальных труб большого диаметра на прессах [1–6]. На рис. 5 показан изгиб кромки стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра.



Рис. 5. Изгиб кромки стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer

На рис. 6 показан изгиб стального листа на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра.



Рис. 6. Изгиб стального листа на трубоформовочном прессе SMS Meer

*Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.ф.-м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (НИТУ «МИСиС») за обсуждение статьи и ценные замечания.*

### **Список литературы**

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликковой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликковой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359-365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликковой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361-366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликковой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467-472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликковый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликковой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356-361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225-229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликковый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.

20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53-56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45-49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12-19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77-81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14-16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25-29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21-26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19-24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3-1. С. 64-67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса

- фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4-1. С. 114-119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5-1. С. 96-99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6-1. С. 115-118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7-1. С. 74-78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8-1. С. 78-83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9-1. С. 73-77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироlikовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатироlikовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семирроlikовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмирроlikовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. 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.
58. 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.

59. 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.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликковой листопрямительной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 102-110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямительная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.
65. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямительная машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 68-75.
66. 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.
67. 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.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5-3 (5). С. 112-115.
69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38-42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74-84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84-93.
77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101-110.

78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50-58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91-100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 107-112.
81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 112-119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-1. С. 131-139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 133-141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 141-149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 127-134.
86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 135-143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 118-127.
88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 127-136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.
90. 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.
91. 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.
92. 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.
93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.
94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-125.
95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 125-134.
96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 134-142.
97. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60-76.

## К ВОПРОСУ О ПРОЧНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ ДЕФЕКТЕ НАРУЖНОЙ ЧАСТИ СВАРНОГО ШВА

*Хоркин В.Н.*

кандидат технических наук, доцент,  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циалковского,  
Россия, г. Калуга

Получен критерий упругопластического разрушения магистральной трубы при несплавлении внешней фаски сварного шва. Проведен расчет критического внутритрубного давления при разрыве стальной толстостенной трубы магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан» в районе г. Алдана в 2009 г.

*Ключевые слова:* стальные сварные трубы большого диаметра, фаска сварного шва, критическое давление разрыва трубы.

### **Основные причины аварий магистральных трубопроводов.**

Среднее число инцидентов и аварий, приходящихся на 1000 км, составило в России за 1999–2009 гг. 0,06 отказов в год. На западноевропейских магистральных трубопроводах среднее число отказов за 1991–2006 гг. составило 0,32 отказа в год, на североамериканских – до 0,48. В США в 1,5 раза больше отказов из-за внешних воздействий. В Европе три наиболее важные причины возникновения аварий – внешние воздействия на трубопроводы (36%), коррозия (29%) и механические повреждения (24%).

**Производство труб большого диаметра для магистральных трубопроводов.** В отечественных магистральных трубопроводах используются трубы большого диаметра – прямошовные, двухшовные и спиральношовные (диаметром до 1420 мм) класса прочности до K65 по стандарту API различного способа изготовления [1–97].

Новейшими технологиями производства прямошовных одношовных сварных труб большого диаметра 1020 мм, 1220 мм и 1420 мм из сталей класса прочностей K38–K65 и X42–X80, с толщиной стенки до 52 мм и рабочим давлением до 22,15 МПа являются процессы формовки листа по схеме JSOE (рис. 1–3) фирмы SMS Meer, используемые российскими заводами – АО «ВМЗ», ЗАО «ИТЗ», ОАО «ЧТПЗ», а также заводами Германии и Китая.

Схема JSOE включает на первой стадии подгибку кромок листовой заготовки с толщиной стенки до 52 мм из стали с пределами текучести и прочности  $\sigma_T = 340\text{--}470$  МПа и  $\sigma_B = 510\text{--}690$  МПа на кромкогибочном прессе пошаговым способом одновременно с двух сторон. Формовка основной части профиля листовой заготовки осуществляется на трубоформовочном прессе пошаговым способом гибки участков от подогнутых кромок к середине профиля одновременно по всей длине заготовок и обеспечивает получение трубных заготовок незамкнутого O-профиля.



Рис. 1. Кромкогибочный пресс SMS Meer

Далее осуществляется сборка трубы с помощью газовой сварки наружного шва трубы и четырех дуговой сварки внутреннего и внешнего швов трубы. После сварки необходимый диаметр трубы и улучшение поперечной округлости трубы достигаются с помощью экспандирования.

**Механические дефекты производства труб из стального листа.** Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [5, 6, 26], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса на процесс экспандирования трубы – в [5, 6, 30, 35], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе – в [5, 6, 36], дефект стального листа раскатной пригар с риской – в [5, 6, 37].

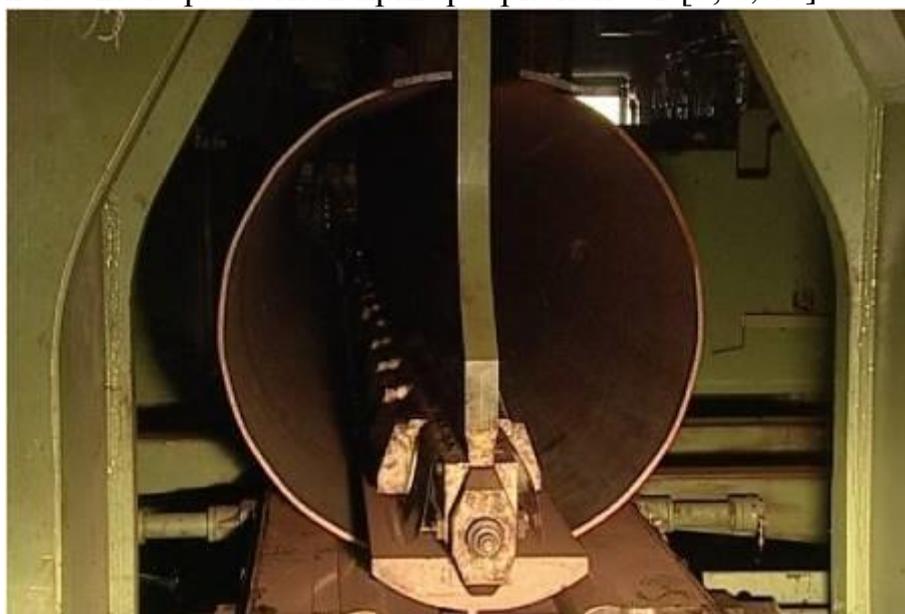


Рис. 2. Трубоформовочный пресс SMS Meer

**Прочностной анализ разрушения труб при частичном несплавлении сварного шва.** Пусть  $D$ ,  $h$  и  $\Delta$  – внешний диаметр трубы, толщина стен-

ки трубы ( $h \ll D$ ) и глубина несплавления сварного соединения на внутренней поверхности трубы ( $\Delta < h$ );  $\varphi$  и  $s$  – угол и длина нижней фаски трубы.

Под действием внутреннего давления при гидроиспытаниях металл трубы в зоне несплавления заводского сварного шва испытывает сложное сопротивление: окружное растяжение, радиальное сжатие, изгиб относительно продольной линии сварного шва, а также концентрацию напряжений. По теории упругопластического течения и критерию прочности Треска–Сен-Венана внутренняя стенка труб начинает разрушаться в точке  $A$  (корне внутреннего сварного шва), когда максимальные касательные напряжения в точке  $A$  достигают половины предела прочности  $\sigma_B$ .

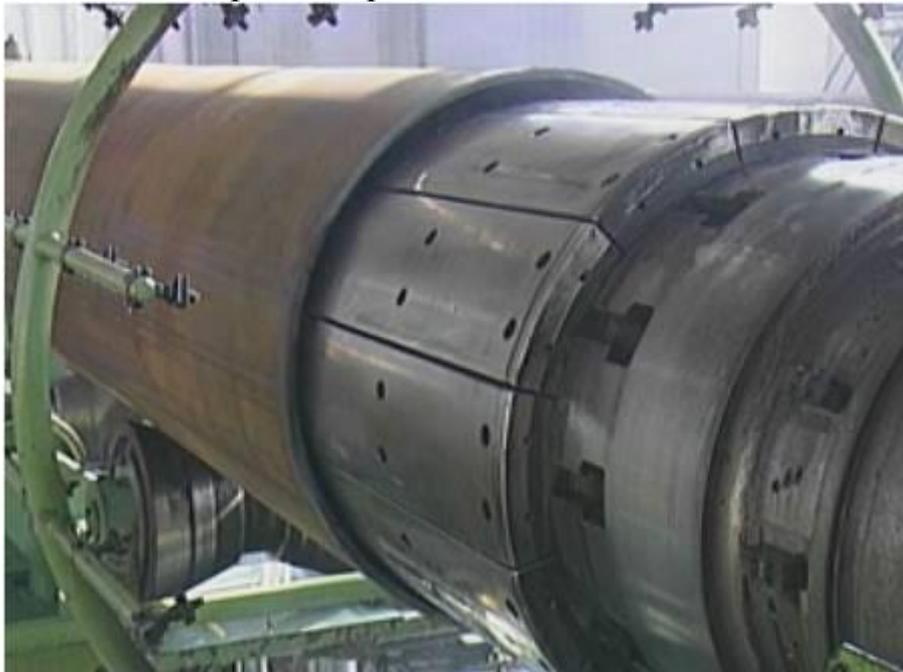


Рис. 3. Экспандер SMS Meer

При несплавлении внешней фаски продольного сварного шва разрушение стальной трубы происходит при достижении критического внутритрубного давления

$$p_{sh}^{критич} = \frac{2\sigma_B(h - \Delta)^2}{\mu D(h + 2\Delta)},$$

где  $\mu = \text{const} \geq 1$  – безразмерный коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений в зоне несплавления сварного шва.

**Пример разрушения трубы.** На рис. 4 и 5 показан разрыв стальной толстостенной трубы магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан» 10 июня 2009 г. в районе г. Алдана. Разрушение прямошовной двухшовной трубы (ОАО «Харцызский трубный завод») класса прочности К60, диаметра 1220 мм и с толщиной стенки 19 мм произошло при гидравлических испытаниях на трассе при достижении величины испытательного давления  $109,8 \text{ кгс/см}^2$ . У разорванной трубы был обнаружен заводской дефект несплавления продольного сварного шва глубиной 4–5 мм.



Рис. 4. Вид разрыва трубы после гидроиспытаний на трассе

### **Прочностной анализ критических давлений разрушенной трубы.**

Для разорванной трубы  $D = 1220$  мм,  $h = 19$  мм,  $\Delta = 4-5$  мм,  $\sigma_b(\text{трубы}) \leq 527$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_b(\text{шва}) \leq 673$  Н/мм<sup>2</sup>. Применяя критерий разрыва трубы при несплавлении сварного шва, получаем, что при глубине несплавления продольного сварного шва  $\Delta = 3,2$  мм и  $\mu = 1$  для основного металла трубы  $p_{sh}^{\text{критич}} = 82,993$  кгс/см<sup>2</sup>, а для металла сварного продольного шва  $p_{sh}^{\text{критич}} = 105,985$  кгс/см<sup>2</sup>.



Рис. 5. Вид сбоку разрыва трубы

Результаты вычислений показывают, что разрушение трубы при гидроиспытаниях на трассе началось несколько раньше, чем испытательное давление в нефтепроводе достигло значения  $109,8$  кгс/см<sup>2</sup>.

*Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.ф.-м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (НИТУ «МИСиС») за обсуждение статьи и ценные замечания.*

### Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359-365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361-366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467-472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356-361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225-229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «доньшками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямляющей машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.

23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*. 2009. № 6. С. 171-174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. 2009. № 16. С. 110-112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 1. С. 54-58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 4. С. 14-22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 6. С. 53-56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2011. № 9. С. 45-49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидротиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 10. С. 12-19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. С. 77-81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. С. 14-16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. С. 25-29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. С. 21-26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19-24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3-1. С. 64-67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4-1. С. 114-119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5-1. С. 96-99.

42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного прессы SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6-1. С. 115-118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного прессы SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7-1. С. 74-78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного прессы SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8-1. С. 78-83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9-1. С. 73-77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.

61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироlikовой листопривальной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 102-110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листопривальной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопривальной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопривальная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.
65. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопривальная машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 68-75.
66. 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.
67. 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.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного прессы SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5-3 (5). С. 112-115.
69. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопривальной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26-34.
70. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессы фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13-20.
71. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листопривальной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42-48.
72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессы при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38-42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74-84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84-93.
77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101-110.
78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50-58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91-100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопривальной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 107-112.

81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 112-119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-1. С. 131-139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 133-141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 141-149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 127-134.
86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 135-143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 118-127.
88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 127-136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.
90. 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.
91. 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.
92. 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.
93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.
94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-125.
95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 125-134.
96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 134-142.
97. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60-76.

## К ВОПРОСУ О СКЛАДКЕ БОКОВОГО ТОРЦА СТАЛЬНОГО ЛИСТА ПРИ ФОРМОВКЕ НА КРОМКОГИБОЧНОМ ПРЕССЕ

*Хоркин В.Н.*

кандидат технических наук, доцент,  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циалковского,  
Россия, г. Калуга

Получен математический критерий возникновения складки (гофра) кромки стального широкого листа на кромкогибочном прессе при производстве сварных толстостенных одношовных прямошовных труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов.

*Ключевые слова:* труба большого диаметра, стальная листовая заготовка, кромкогибочный пресс.

На рынке производства стальных сварных труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки по схеме JCOE, разработанный фирмой SMS Meer [1–97].

На первой стадии процесса осуществляется подгибка кромок листовой заготовки на кромкогибочном прессе (КГП) пошаговым способом одновременно с двух сторон [1, 3, 5, 6], 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, 3, 5, 6, 25]. Далее осуществляется сборка трубы с помощью сварки продольного шва трубы.

После сварки необходимые диаметр и поперечная округлость трубы достигаются с помощью экспандирования трубы [3, 5, 6, 30]. Затем следуют процессы гидроиспытания трубы [3, 5, 6, 30] и нанесения изоляции на поверхности трубы.

Вредное влияние остаточных напряжений металла после ТФП SMS Meer на процесс экспандирования трубы изучалось в [5, 6, 30], дефект «точка перегиба» при изгибе трубной заготовки на ТФП SMS Meer – в [3, 5, 6, 36], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы – в [3, 5, 6, 34], дефект трубы «раскатной пригар с риской» – в [3, 5, 6, 37], процессы правки стального листа на многороликовых листопрямительных машинах SMS Siemag и Fagor Arrasate для производства труб – в [3, 5, 6].

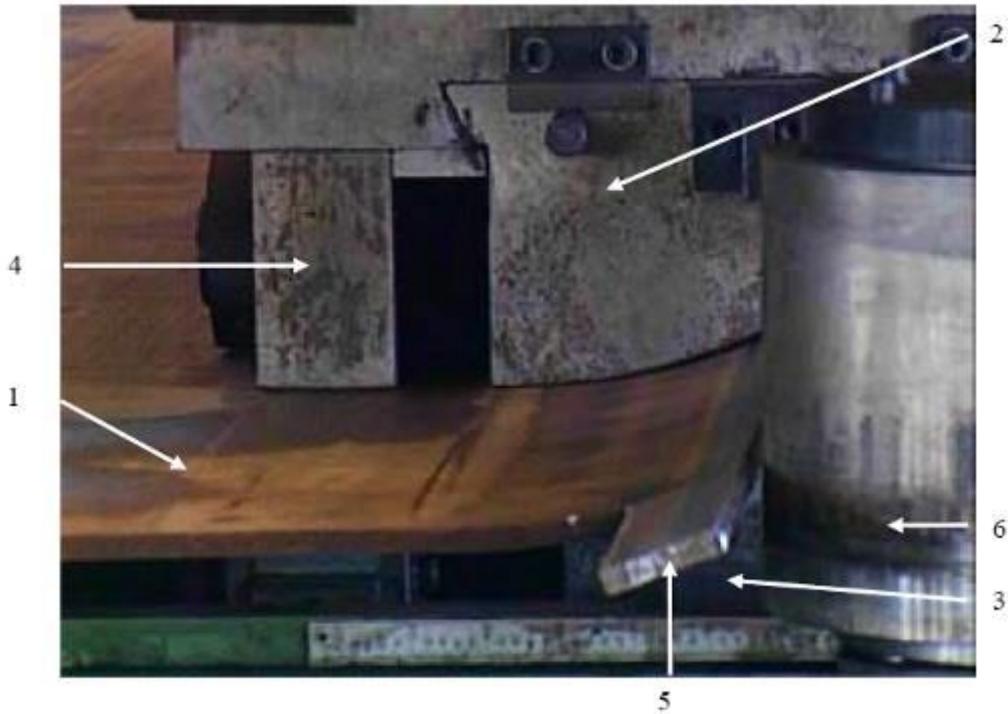


Рис. 1. Деформация листовой заготовки на КГП

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.

Найдем форму листовой заготовки в продольном направлении в момент ее формовки на КГП (рис. 2).

Пусть  $H$  и  $H_{эв}$  – 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.

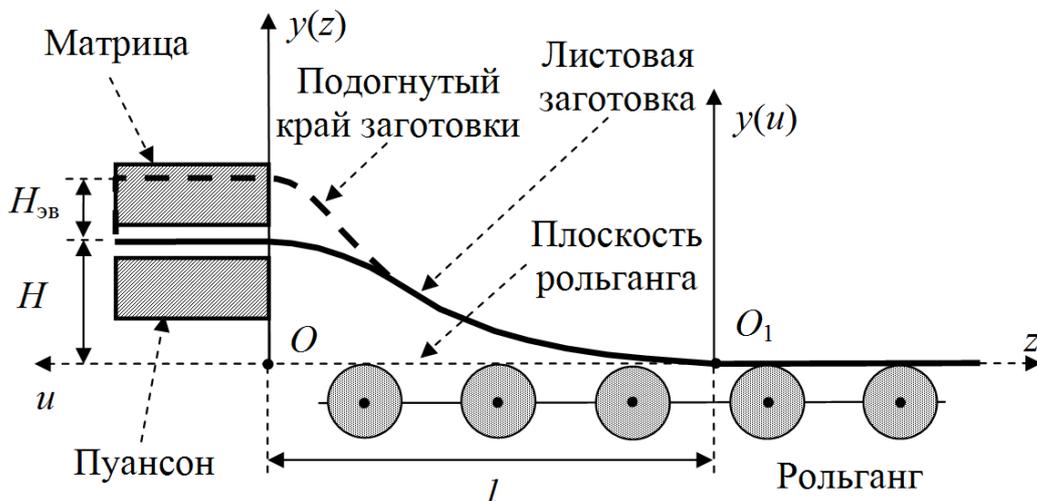


Рис. 2. Форма продольной кромки листовой заготовки на КГП

Пусть  $O_1$  – точка отрыва листа от плоскости рольганга в декартовой прямоугольной системе координат  $O_1yu$  и  $Oyz$ :  $u = l - z$ . 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

$$\begin{aligned} l &= \frac{1}{\mu} \sqrt[4]{\frac{6Eh^2 H}{\gamma}}, \quad y(z) = H \left( 1 - \mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right)^3 \left( 1 + 3\mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right), \\ \frac{dy(z)}{dz} &= -12H\mu^2 z \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \left( 1 - \mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right)^2, \\ \frac{d^2 y(z)}{dz^2} &= -12H\mu^2 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \left( 1 - \mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right) \left( 1 - 3\mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right). \end{aligned}$$

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  $\sigma_T^* = \mu_{\text{КТП}} \sigma_T$ , где  $\sigma_T$  – предел текучести стали,  $\mu_{\text{КТП}} = \text{const} \approx 1$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость деформации заготовки. 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 КТП имеет вид

$$|\rho_{\min}| = |\rho(0)| = \left(12H\mu^2 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2H}}\right)^{-1} \leq \rho_{\text{упр}},$$

$$H \geq \frac{\sigma_T^{*2} h^2}{24\gamma\mu^4 (H_{\text{эв}} + h/2)^2 E}.$$

*Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.ф.-м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (НИТУ «МИСиС») за обсуждение статьи и ценные замечания.*

#### Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359-365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361-366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой

- машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467-472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликковый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликковой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356-361.
  12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225-229.
  13. Шинкин В.Н. Шестироликковый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
  14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
  15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
  16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
  17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
  18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
  19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
  20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
  21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
  22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликковой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
  23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
  24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
  25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
  26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
  27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
  28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53-56.
  29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45-49.
  30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12-19.

31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. С. 77-81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. С. 14-16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. С. 25-29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. С. 21-26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19-24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3-1. С. 64-67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4-1. С. 114-119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5-1. С. 96-99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6-1. С. 115-118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7-1. С. 74-78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8-1. С. 78-83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 9-1. С. 73-77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 12-2. С. 246-251.

50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой листопрямительной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 102-110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямительная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.
65. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямительная машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 68-75.
66. 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.
67. 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.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5-3 (5). С. 112-115.

69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38-42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74-84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84-93.
77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101-110.
78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50-58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91-100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 107-112.
81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 112-119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-1. С. 131-139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 133-141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 141-149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 127-134.
86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 135-143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 118-127.
88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 127-136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.

90. 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.

91. 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.

92. 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.

93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.

94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-125.

95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 125-134.

96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 134-142.

97. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. T. 4. С. 60-76.

## **НАДЕЖНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ ДЕФЕКТЕ ЦАРАПИНА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*Хоркин В.Н.*

кандидат технических наук, доцент,  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
Россия, г. Калуга

Предложен критерий упругопластического разрушения стальных труб большого диаметра при дефекте царапина на внутренней поверхности трубы. Результаты исследования могут быть использованы при диагностике причин разрушения стальных труб большого диаметра магистральных газонефтепроводов.

*Ключевые слова:* стальные сварные трубы большого диаметра, критическое давление разрыва трубы, дефект царапина, модель упругопластической сплошной среды.

**Статистика и причины аварий газонефтепроводов.** Среднее число инцидентов и аварий за 1999-2009 гг., приходящихся на 1000 км российских магистральных трубопроводов, составило 0,06 отказов в год. На западноевропейских магистральных трубопроводах среднее число отказов за

1991-2006 гг. составило 0,32 отказа в год, на североамериканских – 0,48. Однако на отечественных нефтепроводах почти в два раза больше, чем в США и Европе, отказов из-за заводских дефектов и брака строительно-монтажных работ. Поэтому необходимо изучать причины известных случаев

отказа трубопроводов из-за производственного брака [1–97].

В Европе три наиболее важные причины возникновения аварийных ситуаций и утечек – внешние воздействия на трубопроводы (36%), стресс коррозия (29%) и механические повреждения (24%).

Основными причинами аварий на российских магистральных трубопроводах в течение 2001-2006 гг. стали: внешние воздействия – 34,3%, брак монтажно-строительных работ – 23,2%, стресс коррозия – 22,5%, сталеплавильный брак металла и дефекты труб при их изготовлении – 14,1%, ошибочные действия персонала – 3%.

Статистика аварий российских трубопроводов показывает, что разрушение стенок труб в основном происходит именно на трубопроводах большого диаметра 700–1420 мм. Причем свыше 80% разрушений трубопроводов с признаками стресс коррозии наблюдается на трубопроводах диаметром 1020–1420 мм.

Основной причиной коррозионно-механического растрескивания металла стенок труб является совместное действие трех факторов: 1) низкое сталеплавильное качество металла и заводские дефекты труб – большие остаточные напряжения, микротрещины и микрорасслоения металла после формовки трубной заготовки, гофры, царапины, раскатные пригары, несплавления сварного шва и так далее; 2) наличие коррозионно-активной среды и ее доступ к поверхности металла; 3) многоцикловая усталость и разрушение металла от пульсаций внутритрубных рабочих давлений и гидроударов.

Дефекты стенок стальных толстостенных магистральных труб подробно изучались в работах [1, 2, 26, 34–36].



Рис. 1. Исследование дефекта царапина на поверхности стальной трубы с помощью электронной аппаратуры

**Пример дефекта царапина на поверхности стальной трубы.** На рис. 1 показана стальная труба магистрального трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий Океан» с дефектом царапина на поверхности трубы. Глуби-

на и ширина царапины соответственно равны 0,4 мм и 8 мм. Геометрические и прочностные характеристики стальной трубы: диаметр трубы  $D = 1220$  мм, толщина стенки трубы  $h = 19$  мм, класс прочности стали К60, предел прочности стали  $\sigma_B = 684$  МПа.

**Критерий упругопластического разрыва трубы при внутреннем давлении и дефекте царапина.** Царапина (*риска*) – дефект поверхности трубы в виде канавки без выступа кромок с закругленным или плоским дном, образовавшийся от царапания поверхности металла листа или трубы прокатной арматурой без изменения структуры и неметаллических включений. На рис. 2 показан продольный и поперечный вид царапины на поверхности трубы.

Пусть  $p$  – внутреннее давление трубы;  $h$  и  $D$  – толщина стенки и внешний диаметр трубы,  $\sigma_B$  – предел прочности материала трубы;  $l$ ,  $\Delta$  и  $\delta$  – поперечная ширина царапины, глубина царапины и смещение наибольшей глубины царапины от ее центра ( $0 \leq \delta < l/2$ ),  $\varphi$  – угол наклона линии царапины к оси симметрии трубы.

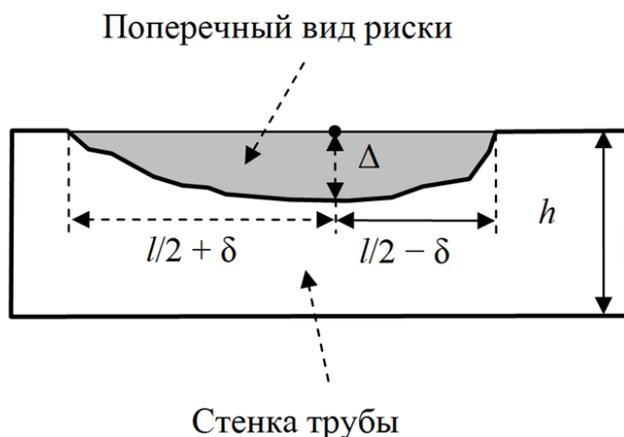


Рис. 2. Дефект царапина на поверхности трубы

По теории упругопластического течения деформацию элементов сплошной среды можно представить как сумму упругой и пластической деформаций. При этом упругая деформация подчиняется обобщенному закону Гука, а пластическая деформация подчиняется теории Сен-Венана–Мизеса.

Если царапина находится на внутренней поверхности трубы, то разрушение поверхности трубы происходит, когда максимальные касательные напряжения в основании царапины достигнут половины предела прочности материала трубы:

$$p \geq p_{sh}^{\text{критич}} = \frac{\sigma_B \cos \varphi}{\mu \left( \frac{D + 2\Delta}{2(h - \Delta)} + \frac{D}{h} \sqrt{\frac{\Delta}{l/2 - \delta} + \frac{3D\Delta}{2(h - \Delta)^2} + \frac{3h\Delta}{(h - \Delta)^2} + 1} \right)}.$$

где  $\mu = \text{const} \geq 1$  – экспериментальный безразмерный коэффициент.

**Результаты расчетов.** При  $\mu = 1$ ,  $\sigma_B = 684$  МПа (труба класса прочности К60),  $D = 1220$  мм,  $h = 19$  мм,  $\Delta = 0,4$  мм,  $l/2 - \delta = 4$  мм,  $\varphi = 0$  критическое давление трубы  $p_{sh}^{\text{критич}} = 12,15$  МПа. При  $\mu = 1$ ,  $\sigma_B = 684$  МПа,  $D = 1220$  мм,

$h = 19$  мм,  $\Delta = 0$  мм (труба без царапины) критическое давление трубы  $p_{sh}^{sh \text{ критич}} = 20,66$  МПа. Таким образом, маленькая царапина глубиной 0,4 мм уменьшает прочность стальной трубы с толщиной стенки 19 мм в 1,7 раза.

На рис. 3 показана зависимость критического напряжения  $p_{sh}^{sh \text{ критич}}$  от диаметра трубы  $D$  при  $\mu = 1$ ,  $\sigma_b = 684$  МПа,  $h = 19$  мм,  $\Delta = 0,4$  мм,  $l/2 - \delta = 4$  мм,  $\varphi = 0$ .

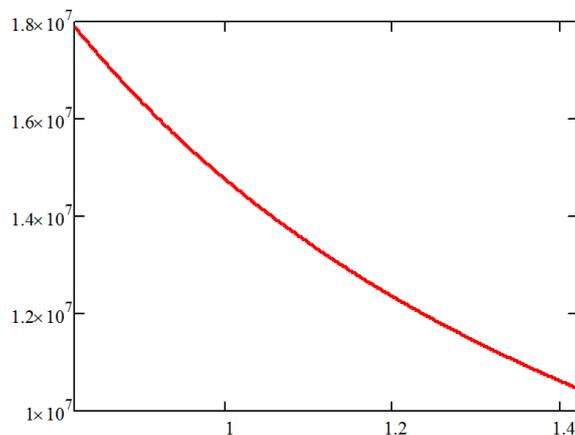


Рис. 3. Зависимость  $p_{sh}^{sh \text{ критич}}$  (Па) от диаметра трубы  $D$  (м)

На рис. 4 показана зависимость критического напряжения  $p_{sh}^{sh \text{ критич}}$  от толщины стенки трубы  $h$  при  $\mu = 1$ ,  $\sigma_b = 684$  МПа,  $D = 1220$  мм,  $\Delta = 0,4$  мм,  $l/2 - \delta = 4$  мм,  $\varphi = 0$ .

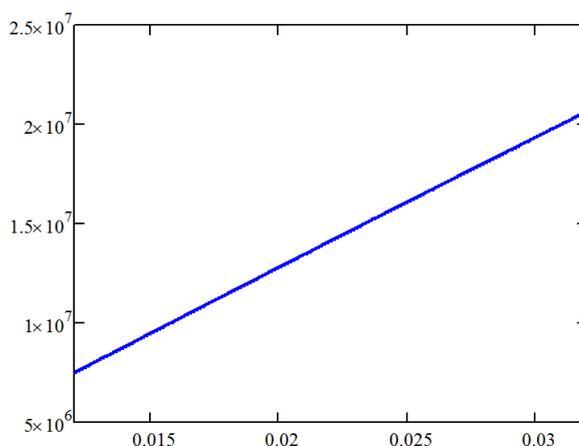


Рис. 4. Зависимость  $p_{sh}^{sh \text{ критич}}$  (Па) от толщины стенки трубы  $h$  (м)

На рис. 5 показана зависимость критического напряжения  $p_{sh}^{sh \text{ критич}}$  от глубины царапины  $\Delta$  при  $\mu = 1$ ,  $\sigma_b = 684$  МПа,  $D = 1220$  мм,  $h = 19$  мм,  $l/2 - \delta = 4$  мм,  $\varphi = 0$ .

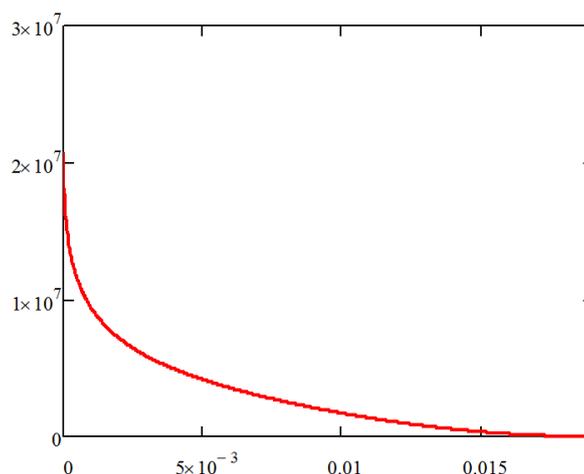


Рис. 5. Зависимость  $p_{sh\text{критич}}$  (Па) от глубины царапины  $\Delta$  (м)

На рис. 6 показана зависимость критического напряжения  $p_{sh}^{\text{критич}}$  от предела прочности  $\sigma_B$  при  $\mu = 1$ ,  $D = 1220$  мм,  $h = 19$  мм,  $\Delta = 0,4$  мм,  $l/2 - \delta = 4$  мм,  $\varphi = 0$ .

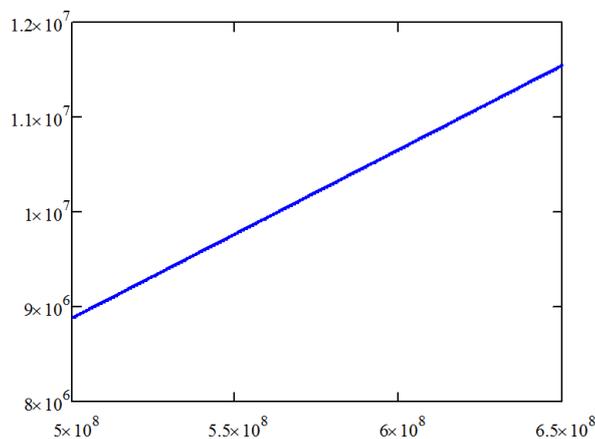


Рис. 6. Зависимость  $p_{sh\text{критич}}$  (Па) от предела прочности стали  $\sigma_B$  (Па)

*Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору, д.ф.-м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (НИТУ «МИСиС») за обсуждение статьи и ценные замечания.*

#### Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.

7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироlikовой листопрáвильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироlikовой листопрáвильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359-365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироlikовой листопрáвильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361-366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироlikовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467-472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроlikовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироlikовой листопрáвильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356-361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225-229.
13. Шинкин В.Н. Шестироlikовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрáвильной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироlikовой листопрáвильной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государ-

ственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.

28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // *Сталь*. 2011. № 6. С. 53-56.

29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2011. № 9. С. 45-49.

30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидротиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // *Производство проката*. 2011. № 10. С. 12-19.

31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // *Металлург*. 2011. № 11. С. 77-81.

32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.

33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // *Steel in Translation*. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.

34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // *Производство проката*. 2012. № 2. С. 14-16.

35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // *Производство проката*. 2012. № 7. С. 25-29.

36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // *Производство проката*. 2012. № 9. С. 21-26.

37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // *Производство проката*. 2012. № 12. С. 19-24.

38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // *Metallurgist*. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.

39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 3-1. С. 64-67.

40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 4-1. С. 114-119.

41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 5-1. С. 96-99.

42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 6-1. С. 115-118.

43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7-1. С. 74-78.

44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 8-1. С. 78-83.

45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 9-1. С. 73-77.

46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироlikовой листопривильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатироlikовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семирроlikовой листопривильной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироlikовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироlikовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. 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.
59. 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.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироlikовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироlikовой листопривильной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 102-110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироlikовой листопривильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироlikовой листопривильной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироlikовая листопривильная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.

65. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямляющая машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 68-75.
66. 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.
67. 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.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного прессы SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5-3 (5). С. 112-115.
69. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатирولیковой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26-34.
70. 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.
71. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатирولیковой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42-48.
72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38-42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74-84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84-93.
77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101-110.
78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50-58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91-100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатирولیковой листопрямляющей машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 107-112.
81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатирولیковой листопрямляющей машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 112-119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-1. С. 131-139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 133-141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 141-149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 127-134.

86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 135-143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 118-127.
88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 127-136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.
90. 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.
91. 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.
92. 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.
93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.
94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-125.
95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 125-134.
96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 134-142.
97. 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.

## **РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИБОЧНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СТАЛЬНОГО ЛИСТА**

***Хоркин В.Н.***

кандидат технических наук, доцент,  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
Россия, г. Калуга

Предложен математический метод определения оптимальных технологических параметров гибки металлического листа на вальцах листогибочных трехвалковых. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах при производстве металлических труб.

*Ключевые слова:* металлический лист, вальцы листогибочные трехвалковые, кривизна поверхности листа, упругопластическая деформация.

**Листогибочные вальцы.** Для получения изделий различной конфигурации из металлического листа в металлургии и машиностроении используют множество приспособлений [1–97]. Одно из них – листогибочные вальцы, которые можно классифицировать по нескольким признакам: по количеству валков (двух-, трёх- и четырёхвалковые), по типу привода (механические, пневматические, электромеханические и гидравлические) и по взаимному расположению валков (симметричные и несимметричные/асимметричные).

Вальцы листогибочные трехвалковые (рис. 1) применяются для производства изделий цилиндрической, овальной и конической формы путем гибки листового металла. С помощью них изготавливают трубы, желоба, элементы воздуховодов, обечайки, бочки и всевозможные кожухи.

Принцип работы вальцов листогибочных трехвалковых основан на противоположно направленном вращении валков, благодаря которому происходит захват листового материала и его гибка по заданному радиусу. Для облегчения подачи листов и выемки изделий, согнутых в замкнутую окружность, вальцы листогибочные трехвалковые комплектуются съемным и регулируемым по прижиму передним валом.



Рис. 1. Вальцы листогибочные трехвалковые с гидравлическим приводом

**Деформация металлического листа на вальцах листогибочных трехвалковых.** Пусть  $t$  – шаг между нижними валками,  $H_2$  – величина обжатия срединной поверхности листа на втором валке,  $h$  – толщина листа,  $R$  – радиус рабочих валков,  $R_0 = R + h/2$ ;  $\sigma_t$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения металла при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках ее касания с валками,  $\varphi_i$  – углы точек касания листа и валков ( $i = 1, 2, 3$ ) (рис. 2).

Коэффициент пружинения нейтральной линии листа при радиусе кривизны  $\rho$  равен

$$\beta(\rho) = \left[ 4(1-\eta)(\xi+1)(\xi-0,5)^2 \right]^{-1}, \quad \xi = \rho\sigma_T / (hE), \quad \eta = (\Pi_p + \Pi_c) / (2E).$$

Введем две локальные прямоугольные декартовые системы координат  $y-z$  в точках касания листа с валками вальцов. Оси  $z$  направим по касательной к поверхности валков слева направо, а оси  $y$  – перпендикулярно к оси  $z$  в сторону центров соответствующих валков. Будем аппроксимировать в этих системах координат нейтральную линию листа (между соседними точками касания листа и валков) с помощью кубических полиномов вида  $y(z) = a z^2 - b z^3$ . Обозначим  $a_i$  и  $b_i$  – коэффициенты кубических полиномов в  $i$ -ой системе координат.

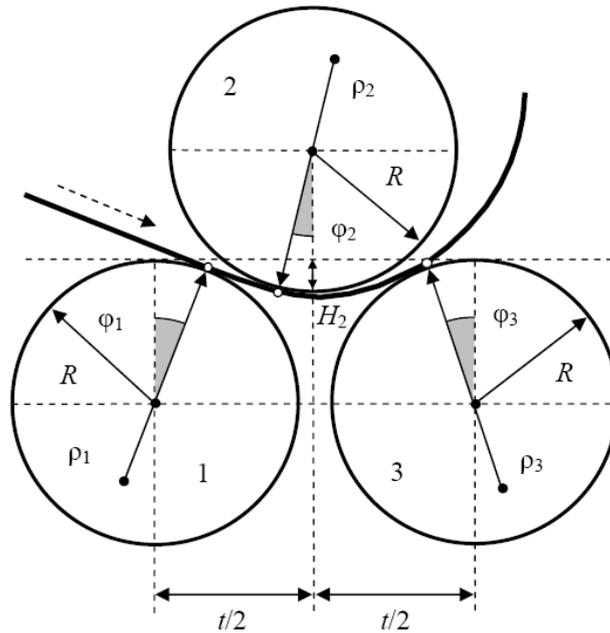


Рис. 2. Схема гибки металлического листа на вальцах листогибочных трехвалковых

Составим уравнения для коэффициентов кубических полиномов, кривизны и радиусов кривизны нейтральной линии листа в точках его касания с валками.

*Первый и второй валки:*

$$z_2 = \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 - R_0 \sin \varphi_2 \right) \cos \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \sin \varphi_1,$$

$$y_2 = - \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 - R_0 \sin \varphi_2 \right) \sin \varphi_1 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2)] \cos \varphi_1,$$

$$a_1 = \frac{3y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_2)z_2}{z_2^2}, \quad b_1 = \frac{2y_2 + \operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_2)z_2}{z_2^3},$$

$$\varepsilon_{12} = 2a_1, \quad \rho_{12} = \frac{1}{2a_1}, \quad \varepsilon_{21} = \frac{2a_1 - 6b_1z_2}{\left[ 1 + (2a_1z_2 - 3b_1z_2^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{21} = \frac{1}{\varepsilon_{21}}.$$

Второй и третий валки:

$$z_3 = \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3 \right) \cos \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \sin \varphi_2,$$

$$y_3 = - \left( \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3 \right) \sin \varphi_2 + [H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3)] \cos \varphi_2,$$

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

$$\varepsilon_{23} = 2a_2, \quad \rho_{23} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{32} = \frac{2a_2 - 6b_2z_3}{\left[ 1 + (2a_2z_3 - 3b_2z_3^2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{32} = \frac{1}{\varepsilon_{32}}.$$

Граничные условия задачи имеют вид

$$\rho_{12} = \rho_1, \quad \rho_{21} = -\rho_{23}, \quad \rho_{32} = \beta(\rho_{23})\rho_{23}.$$

**Результаты расчетов.** Решая систему уравнений при  $t = 0,27$  м,  $R = 0,125$  м,  $h = 0,01$  м,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $H_2 = 0,024$  м и  $\rho_1 = \infty$  м, получаем  $\rho_2 = 0,225$  м,  $\rho_3 = -0,272$  м,  $\varphi_1 = 15,83^\circ$ ,  $\varphi_2 = 3,16^\circ$ ,  $\varphi_3 = 20,63^\circ$  (рис. 3).

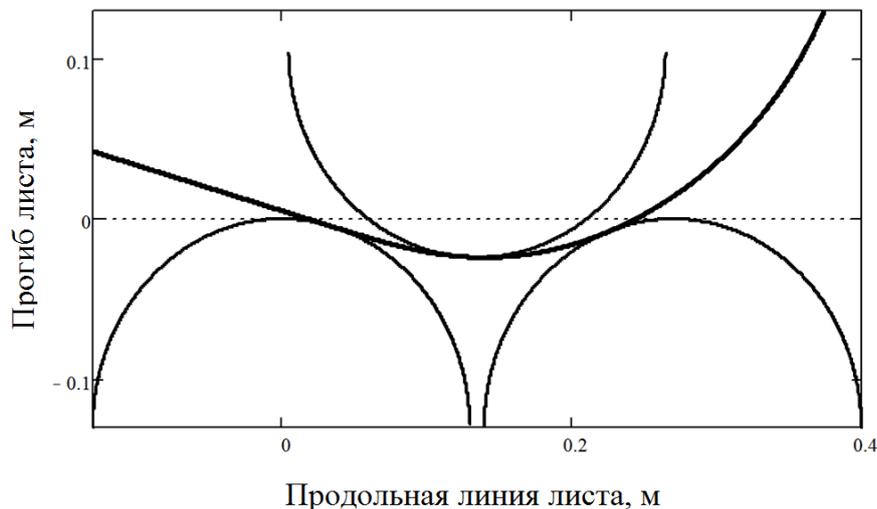


Рис. 3. Срединная линия листа между тремя валками листогибочных вальцов

**Производство труб большого диаметра из широкого толстого стального листа.** Новейшими технологиями производства прямошовных одношовных сварных труб большого диаметра 1020 мм, 1220 мм и 1420 мм из сталей класса прочностей К38–К65 и Х42–Х80, с толщиной стенки до 52 мм и рабочим давлением до 22,15 МПа являются процессы формовки листа по схеме JCOE фирмы SMS Meer [1–97], используемые российскими заводами — АО «ВМЗ», ЗАО «ИТЗ», ОАО «ЧТПЗ», а также заводами Германии и Китая.

**Производственные дефекты стального листа и труб.** Перед формовкой труб стальной лист правят на многороликовых листопрямительных машинах [1, 5, 6]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе изучался в работах [3, 5, 6, 26], дефект несплавления сварного продольного шва при сборке трубы изучался в работах [3, 5, 6, 34], дефект точка перегиба при изгибе стального листа на трубофор-

мовочном прессе – в [3, 5, 6, 36], дефект стального листа раскатной пригар с  
риской – в [5, 6].

*Автор выражает благодарность научному руководителю, профессору,  
д.ф.-м.н. Владимиру Николаевичу Шинкину (НИТУ «МИСиС») за обсуждение  
статьи и ценные замечания.*

#### **Список литературы**

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироlikовой листопривальной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироlikовой листопривальной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359-365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироlikовой листопривальной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361-366.
10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироlikовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467-472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроlikовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироlikовой листопривальной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356-361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225-229.
13. Шинкин В.Н. Шестироlikовый режим предварительной правки стальной полосы на листопривальной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на

- кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53-56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45-49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12-19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77-81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14-16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25-29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21-26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19-24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.

39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3-1. С. 64-67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного прессы фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4-1. С. 114-119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5-1. С. 96-99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного прессы SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6-1. С. 115-118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного прессы SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7-1. С. 74-78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного прессы SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8-1. С. 78-83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9-1. С. 73-77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семирولیковой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмирولیковой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмирولیковой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.

58. Шинкин В.Н. Четырехроликковая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликковая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликковой листопрямительной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 102-110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатироликковой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироликковой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироликковая листопрямительная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.
65. Шинкин В.Н. Шестироликковая листопрямительная машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 68-75.
66. 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.
67. 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.
68. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5-3 (5). С. 112-115.
69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38-42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74-84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84-93.

77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101-110.
78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50-58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91-100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 107-112.
81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8-3 (50). С. 112-119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-1. С. 131-139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 133-141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-3. С. 141-149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 127-134.
86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-3. С. 135-143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 118-127.
88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 127-136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5-3. С. 137-146.
90. 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.
91. 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.
92. 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.
93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.
94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-125.
95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 125-134.
96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 134-142.
97. 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.

## ФОРМОВКА ПОЛУСОГНУТОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ НА ПРЕССЕ

*Хоркин В.Н.*

кандидат технических наук, доцент,  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
Россия, г. Калуга

Предложен метод расчета параметров гибки полусогнутой металлической пластины на прессе: максимального усилия пресса при формовке, размера и формы контактной зоны пуансона и заготовки. Результаты исследований могут быть применены на машиностроительных и металлургических заводах.

*Ключевые слова:* металлическая пластина, упругопластический изгиб, формовочный пресс.

Формовка металлических пластин и листов широко применяется в России и за рубежом на металлургических и машиностроительных заводах [1–97].

Рассмотрим изгиб полусогнутой металлической пластины, опирающейся на закругленные матрицы (бойки), под действием давления пуансона пресса (рис. 1–3).

Пусть левая деформированная часть пластины имеет цилиндрическую форму, а правая недеформированная часть пластины является плоской.

Пусть  $H$  – глубина прогиба (обжатие) заготовки при формовке;  $H_{\max}$  – максимально возможная глубина прогиба заготовки (до касания пуансона матриц);  $r_n$  и  $r_m$  радиусы пуансона и матрицы;  $\beta_1 r_n$  – радиус недеформируемой части цилиндрической заготовки ( $\beta_1 > 1$ );  $P_{\text{шф}}$  – усилие пуансона при формовке;  $R_1$  – реакция опоры заготовки и матрицы;  $\alpha$  и  $\alpha_1$  – углы контакта заготовки с матрицами;  $\varphi_1$  и  $\varphi$  – углы левой и правой зон контакта пуансона и заготовки;  $L$  – расстояние между матрицами;  $\mu$  – коэффициент силы трения скольжения;  $h$  и  $b$  – толщина и ширина заготовки;  $\sigma_T$  – предел текучести;  $E$  – модуль Юнга;  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – модули упрочнения при растяжении и сжатии;  $\rho = r_n + h/2$  – радиус кривизны нейтральной плоскости заготовки.

Изгибающий момент в контактной зоне пуансона и заготовки равен [3–6]

$$M(\rho) = bh^2\sigma_T \left[ \frac{1}{4} - \frac{1}{3}\xi^2 + \eta(1 - 2\xi)^2(1 + \xi) \right], \quad \xi = \frac{\sigma_T \rho}{Eh}, \quad \eta = \frac{(\Pi_p + \Pi_c)h}{24\sigma_T \rho}.$$





Рис. 2. Формовка частично изогнутой заготовки на прессе

Тогда

$$\alpha = \varphi = \arcsin \left( \frac{r_{\Pi} + r_{\text{M}}}{\sqrt{(r_{\Pi} + r_{\text{M}} - H)^2 + \left(\frac{L}{2} + r_{\text{M}}\right)^2}} \right) - \operatorname{arctg} \left( \frac{r_{\Pi} + r_{\text{M}} - H}{\frac{L}{2} + r_{\text{M}}} \right),$$

$$\varphi_{10} = \alpha_1 - \varphi_1 = \arccos \left[ \frac{(\beta r_{\Pi} + r_{\text{M}})^2 + r_{\Pi}^2 (\beta - 1)^2 - (r_{\Pi} + r_{\text{M}} - H)^2 - \left(\frac{L}{2} + r_{\text{M}}\right)^2}{2(\beta r_{\text{M}} + r_{\Pi}) r_{\Pi} (\beta - 1)} \right],$$

$$\varphi_{20} = \arcsin \left[ \frac{(\beta_1 r_{\Pi} + r_{\text{M}}) \sin \varphi_{10}}{\sqrt{(\beta_1 r_{\Pi} + r_{\text{M}})^2 - 2(\beta_1 r_{\Pi} + r_{\text{M}}) r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \cos \varphi_{10} + r_{\Pi}^2 (\beta_1 - 1)^2}} \right],$$

$$\varphi_1 = -\varphi_{20} + \arcsin \left[ \frac{\frac{L}{2} + r_{\text{M}}}{\sqrt{(\beta_1 r_{\Pi} + r_{\text{M}})^2 - 2(\beta_1 r_{\Pi} + r_{\text{M}}) r_{\Pi} (\beta_1 - 1) \cos \varphi_{10} + r_{\Pi}^2 (\beta_1 - 1)^2}} \right],$$

$$\alpha_1 = \varphi_1 + \varphi_{10}.$$

Угол контактной зоны  $\varphi_k = (\varphi_1 + \varphi)$ . Длина контактной зоны пуансона и заготовки  $l_k = r_{\Pi}(\varphi_1 + \varphi)$ .

Правая и левая реакции матриц равны

$$R = \frac{M \cos \alpha}{\frac{L}{2} + r_M - (r_{II} + r_M) \sin \alpha},$$

$$R_1 = \frac{M}{2 \beta_1 r_{II} \sin\left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2}\right) \left[ \cos\left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2}\right) + \mu \sin\left(\frac{\alpha_1 - \varphi_1}{2}\right) \right]}.$$

Усилие пуансона прессы при изгибе частично изогнутой стальной заготовки равно

$$P_{шф} = R_1(\cos \alpha_1 + \mu \sin \alpha_1) + R(\cos \alpha + \mu \sin \alpha).$$

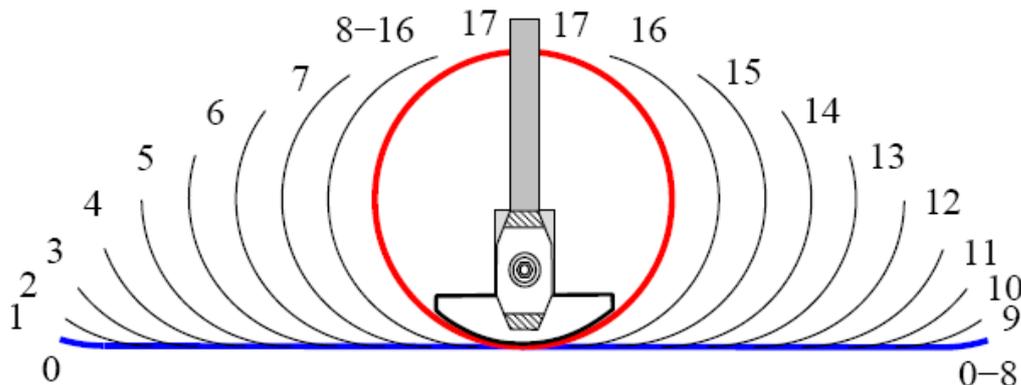


Рис. 3. Последовательный вид заготовки при изгибе на прессы (17 ударов пуансона)

*Автор выражает признательность научному руководителю Шинкину Владимиру Николаевичу за постановку задачи и ценные замечания.*

#### Список литературы

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
3. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
5. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
6. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
7. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямляющей машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
9. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.

10. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
11. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
12. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
13. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гид-

- роиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Metallurg. 2011. № 11. С. 77–81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14–16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25–29.
36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21–26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с риской» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. С. 64–67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. С. 96–99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6–1. С. 115–118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7–1. С. 74–78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1. С. 78–83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10–1. С. 153–157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямильной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.

49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатиролковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семиролковой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмиролковой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмиролковой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.
58. Шинкин В.Н. Четырехролковая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.
59. Шинкин В.Н. Четырехролковая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятиролковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 95–102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятиролковой листопрямительной машины при правке толстого стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7–1. С. 102–110.
62. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при правке на двенадцатиролковой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 97–106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатиролковой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8–1. С. 106–114.
64. Шинкин В.Н. Шестиролковая листопрямительная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9–1. С. 61–68.
65. Шинкин В.Н. Шестиролковая листопрямительная машина. Часть 2. Силы и моменты // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9–1. С. 68–75.
66. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной рулонной полосы на пятиролковой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
67. 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.
68. 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.
69. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатирولیковой листопрáвильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
70. 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.
71. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатирولیковой листопрáвильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
72. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
73. 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.
74. 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.
75. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.
76. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.
77. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.
78. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
79. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.
80. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатирولیковой листопрáвильной машине. Часть 1. Кривизна листа // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 107–112.
81. Шинкин В.Н. Правка стального листа на двенадцатирولیковой листопрáвильной машине. Часть 2. Силы и моменты // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 8 (50). Часть 3. С. 112–119.
82. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семирولیковой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.
83. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.
84. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
85. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
86. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
87. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмирولیковой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.

88. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.
89. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.
90. 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.
91. 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.
92. 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.
93. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа в двенадцатироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 105–114.
94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 115–125.
95. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 1. Остаточные деформации // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 125–134.
96. Шинкин В.Н. Подгиб стального листа на кромкогибочном прессе по эвольвенте. Часть 2. Критерий возникновения гофра // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7–2. С. 134–142.
97. 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.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОДУВКИ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В КОНВЕРТЕРЕ**

***Челядина А.Л.***

ст. преподаватель кафедры металлургического оборудования,  
Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

***Водопьянов Е.А.***

магистрант гр. М-МО-15-1,  
Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк

В статье рассмотрены современные тенденции технологии выплавки стали в кислородном конвертере и использование нового оборудования для осуществления продувки расплава кислородом сверху и комбинированной продувки.

*Ключевые слова:* качество продукции, кислородный конвертер, фурма, электропривод подъема, комбинированная продувка, сталь, шлак.

В настоящее время высококачественная, технологичная и конкурентоспособная продукция является залогом технической, технологической и экономической безопасности любого предприятия [1].

ПАО «НЛМК», как один из крупнейших производителей металлопродукции в России и мире, уделяет повышенное внимание современным тенденциям технологии выплавки стали и оборудованию для ее производства.

К задачам повышения качества производимой металлопродукции относятся: точность геометрических размеров непрерывнолитых слэбов; качество поверхности выпускаемой продукции; качество макроструктуры.

Для выполнения данных задач и требований к качеству на предприятии должна проводиться постоянная работа по совершенствованию как технологии выплавки стали, внепечной обработки чугуна и стали, так и основного оборудования для этих процессов.

Для производства полупродукта в конвертерах в КЦ-1 и КЦ-2 применяется комбинированная продувка металла с подачей кислорода через верхнюю фурму и нейтральных газов аргона и азота через днище конвертеров [2]. Такой способ продувки соответствует мировой практике сталеплавильного производства. ПАО «НЛМК» является первым среди предприятий России, имеющих конвертерное производство стали, в области внедрения комбинированной продувки.

Для того, чтобы выполнять комбинированную продувку, позволяющую выплавлять полупродукт с требуемыми параметрами, необходимо обеспечить следующие показатели:

- для КЦ-1: расход азота (аргона)  $0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$  на каждое продувочное устройство до седьмой минуты; время замещения азота на аргон – на седьмой минуте продувки; расход аргона после седьмой минуты –  $0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$  на каждое продувочное устройство; расход аргона, начиная с четырнадцатой минуты –  $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$  на каждое продувочное устройство;

- для КЦ-2: расход азота (аргона)  $0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$  на каждое продувочное устройство до восемнадцатой минуты; время замещения азота на аргон – на десятой минуте продувки; расход аргона после восемнадцатой минуты –  $0,7 \text{ м}^3/\text{мин}$  на каждое продувочное устройство; расход аргона после восемнадцатой минуты –  $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$  на каждое продувочное устройство.

За период использования технологии комбинированной продувки с 2009 г. в конвертерных цехах была достигнута одинаковая стойкость продувочных фурм и цилиндрической части конвертеров до 3000 плавов.

Интенсивность продувки расплава в конвертерах  $4 - 5 \text{ м}^3 \cdot \text{т}/\text{мин}$  является мировой тенденцией в области повышения качества продукции. Для достижения интенсивности продувки в КЦ-1 и КЦ-2 имеется сдерживающий фактор – низкий удельный объем конвертеров. Для КЦ-1 он равен  $0,74 \text{ м}^3/\text{т}$ , для КЦ-2 –  $0,77 \text{ м}^3/\text{т}$ . Увеличить удельный объем конвертеров до  $0,82 \text{ м}^3/\text{т}$  возможно путем модернизации футеровки. Увеличение интенсивности продувки стало возможным после ввода в эксплуатацию стационарных машин подачи кислорода типа МПК производства «Азовмаш» по программе технического перевооружения конвертерных цехов [3].

В машинах для подачи кислорода рабочим органом является фурма. Одной из проблем электроприводов подъема фурмы, является возникновение перегрузок в результате налипания на фурму металла и шлака (настыли) в

процессе продувки плавки кислородом. Эта проблема решалась установкой более мощных электродвигателей подъема фурмы в двухпозиционных кислородных машинах верхнего расположения. При этом резервная фурма не перемещается, а каретка с рабочей фурмой движется по вертикальным направляющим и потери на трение при движении легко прогнозируемы.

Существуют способы повышения надежности работы главных электроприводов машины для подачи кислорода.

Особенностью первого способа является то, что обе фурмы приводятся в движение совместно. За основу принимается максимальность гибкости системы. Такая система устранит вероятность аварийного простоя конвертера, когда обе фурмы не способны работать из-за возникновения неисправностей разного характера. Но недостатком системы заключается в том, что во взаиморезервирующей силовой части схемы электроприводов появляются перекрестные связи, которые осуществляются при помощи контакторов и переключателей, часть из них является общей для обоих электроприводов.

Это приведет к остановке работы всей машины для подачи кислорода.

Другой способ заключается в обеспечении машины максимальной автономностью системы управления рабочей и резервной фурмы. Это приведет к повышению надежности машины для подачи кислорода. Таким образом, каждая фурма представляется самостоятельным объектом управления, со своей системой управления и электродвигателем. Система управления включает в себя тиристорный преобразователь, электродвигатель, программируемый контроллер, датчики и органы управления.

Работа коммутационной аппаратуры хоть и надежнее, чем работа тиристорных преобразователей, и замена испорченного аппарата производится быстрее, чем восстановление тиристорного преобразователя, все же вероятность аварийной остановки всей машины существует. Ни один из принципов не гарантирует полностью безотказную работу электрооборудования машины для подачи кислорода [4]. Аварийная остановка главных приводов, когда идет процесс продувки плавки кислородом, при нахождении фурмы внутри конвертера может привести к тяжелым последствиям. Чтобы этого избежать, каждая фурма, кроме главного привода подъема, должна быть оборудована индивидуальным автономным приводом аварийного подъема. Привода аварийного подъема бывают двух типов: электрические и пневматические. Построение схем приводов аварийного подъема – это их простота, минимум коммутационной и другой аппаратуры, все это приводит к повышению надежности работы.

Конструктивной особенностью стационарных машин подачи кислорода является повышенная жесткость металлоконструкции для перемещения каретки с фурмой и конфигурация беговых дорожек для удержания роликовых обойм каретки. В комплексе конструкция машин позволяет обеспечить повышенного расхода кислорода и требуемой интенсивности продувки. Применение на данных машинах фурм с литыми наконечниками для верхней продувки позволило увеличить стойкость наконечников до 400 плавов, а

пропускную способность наконечников для КЦ-1 – до 600 м<sup>3</sup>/мин, для КЦ-2 – до 1200 м<sup>3</sup>/мин.

При использовании комбинированной продувки на конвертерах, работающих в комплексе со стационарными машинами подачи кислорода, было достигнуто качественное и количественное изменение ряда технологических параметров выплавки стали.

Реализация всех мероприятий по модернизации и техническому перевооружению конвертерных цехов ПАО «НЛМК» позволила увеличить интенсивность продувки металла в конвертерах до 4 – 5 м<sup>3</sup>·т/мин, что соответствует мировым показателям.

#### **Список литературы**

1. Челябинца А.Л. Современные технологии оборудования для выплавки стали в конвертере [Текст]/ А.Л. Челябинца, В.Л. Челябинца // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. докл. научно-практич. конф. В 2 ч. Ч.1. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2015. – С. 268-271.

2. Колпаков, С.В. Технология производства стали в современных конвертерных цехах [Текст]/ С.В. Колпаков [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1991. – 464 с.

3. Челябинца А.Л. Исследование надежности работы электроприводов и системы управления машины для подачи кислорода [Текст] / А.Л. Челябинца, В.Л. Челябинца // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. докл. научно-практич. конф. В 2 ч. Ч.1. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2012. – С. 199-203.

4. Электроприводы и система управления машины подачи кислорода/ А.С. Дубенецкий, В.А. Куленцов, Л.Г. Лимонов, С.В. Потапов // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: XIV международная научно-техническая конференция. – днепропетровский: ДДТУ, 2007. – С. 78-84.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ORACLE В ПРЕПОДАВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДИСЦИПЛИН**

***Чулюков В.А.***

доцент кафедры информатики и МПМ, канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Воронежский государственный педагогический университет,  
Россия, г. Воронеж

Для курсов, ориентированных на изучение баз данных, информационных систем с базами данных предлагается использовать такое современное программное обеспечение как среда разработки Oracle Application Express (APEX) 5.0. Рассматриваются возможности этой среды для применения в учебном процессе. Приведен возможный план практических занятий по изучению APEX.

*Ключевые слова:* базы данных, информационные системы, программное обеспечение, методическое обеспечение.

Учебные планы многих учебных заведений в соответствии с ФГОС3+ бакалавриата по направлениям «Прикладная информатика», «Прикладная математика» и другим содержат учебные курсы, связанные с изучением баз данных и информационных систем с базами данных. С изложением теорети-

ческого материала по этим курсам проблем не возникает – разработано множество учебных пособий, например [1,2]), а также доступны фундаментальные издания как [4]. Имеются программно-методические средства по практическому изучению математических основ реляционных баз данных – реляционной алгебры и реляционного исчисления (например, [5]). Учебников по практическому изучению языка SQL довольно много, по PL/SQL также возможно использовать методические указания например из [3]. Однако с изучением разработки интерактивных web-систем до сих пор наблюдались сложности.

До появления Oracle Application Express (APEX) разработка полностью интерактивных web-систем для баз данных Oracle почти всегда означало изучение нового и часто сложного языка как Java.NET или PHP, а затем интегрирование выбранного языка с этими данными. Часто это также означало необходимость включения бизнес-правил, которые уже были закодированы в виде модулей PL/SQL. В таких ситуациях чтобы стать достаточно опытным в выбранном языке и начать писать функциональной системы может потребоваться несколько месяцев или даже лет. С появлением APEX ситуация изменилась, и мы считаем, что этот продукт наряду с использованием профессиональными разработчиками будет полезен в высшей школе.

APEX является средой быстрой разработки приложений (RAD), на 100% работающей на основе браузера и позволяющей создавать интерактивные web-приложения Oracle очень быстро и с относительно небольшими затратами усилий по программированию. Остановимся на достоинствах APEX как платформы для разработки. В первую очередь APEX использует в качестве основных языков SQL и PL /SQL. Это огромное преимущество для тех, кто уже работает с базой данных Oracle. Программные модули PL/SQL еще более полезны при миграции из Oracle-системы, имеющей значительное количество правил бизнес-логики запрограммированных в хранимых модулях PL/SQL. То есть практически сразу же можно воспользоваться этой логикой с очень малыми усилиями по внесению изменений в существующий код.

Еще одно большое преимущество заключается в том, что APEX является декларативным инструментом с многофункциональным ядром – APEX сам заботится о многих функциях, общих для всех веб-приложений, и можно сразу сосредоточиться на логике, специфичной для разрабатываемого приложения.

Почти все приложение можно сделать, используя один из множества встроенных мастеров, предоставляемых в рамках APEX Application Builder. Мастер помогает определить потребности приложения и сохраняет эту информацию в качестве метаданных. После того как работа мастер завершена приложение можно редактировать и улучшать его функциональность или даже заменить его собственными пользовательскими SQL и PL/SQL подпрограммами.

В заключение приведем возможный план практических (лабораторных) занятий по первоначальному изучению проектирования интерфейсов баз данных Oracle с использованием APEX, полезных как для преподавателя, так и для обучаемого.

1. Что такое Oracle Application Express?
  - 1.1. Введение.
  - 1.2. Что такое Oracle Application Express?
  - 1.3. История Oracle APEX.
  - 1.4. Возможности Oracle APEX.
  - 1.5. Примеры приложений, разработанных в Oracle APEX.
  - 1.6. Инсталляция и конфигурирование Oracle APEX.
2. Работа с Oracle APEX 5.0.
  - 2.1. Создание рабочего пространства (Workspace).
  - 2.2. Работа в Workspace.
  - 2.3. Управление пользователями и группами в Workspace.
  - 2.4. Просмотр таблиц и данных.
3. Создание приложения.

#### **Список литературы**

1. Астахова И.Ф., Потапов А.С., Чулюков В.А., Стариков В.Н. Практикум по информационным системам. Oracle. Киев: Юниор, 2004. 176 с.
2. Астахова И.Ф., Потапов А.С., Чулюков В.А., Журбин А.Н. Информационные системы: Учебное пособие. Воронеж: Воронежский государственный педагогический университет, 2002. 148 с.
3. Астахова И.Ф., Толстобров А.П., Чулюков В.А., Потапов А.С. Учебные пособия «СУБД: язык SQL в примерах и задачах», «Искусственный интеллект. Практический курс» // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 1. С. 53.
4. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 7-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. 1072 с.
5. Чулюков В.А. Программное сопровождение курса «Архитектура компьютера» // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3-12. С. 142-143.

## **СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИВОШИПНО-ШАТУННЫХ И СВОБОДНОПОРШНЕВЫХ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

***Шустров Ф.А.***

зам. директора НТЦ «Силовые агрегаты»,  
Московский Политех, Россия, г. Москва

***Иванов Д.А.***

ведущий инженер-исследователь НТЦ «Силовые агрегаты»,  
Московский Политех, Россия, г. Москва

***Татарников А.П.***

инженер-исследователь 1 кат. НТЦ «Силовые агрегаты»,  
Московский Политех, Россия, г. Москва

В докладе приведен сравнительный анализ показателей свободнопоршневых и традиционных двигателей внутреннего и внешнего сгорания при их эксплуатации в составе энергоустановок различного назначения. Оценка экономических, энергетических, эколо-

гических и основных эксплуатационных показателей существующих образцов рассматриваемых тепловых двигателей продемонстрировала превосходство свободнопоршневых двигателей над традиционными, использующими кривошипно-шатунный механизм.

*Ключевые слова:* двигатель внутреннего сгорания, двигатель внешнего сгорания, кривошипно-шатунный механизм, свободнопоршневой двигатель.

Одним из актуальных технических решений в области создания тепловых двигателей, которое позволит улучшить большинство энергоэкологических показателей, при этом сохранив рациональность использования на транспорте и в малой энергетике, является использование свободнопоршневых кинематических схем. Свободнопоршневые двигатели позволяют получать механическую энергию, произведенную в результате сжигания топлива, непосредственно с рабочего поршня. Причины возобновления интереса научной общественности к данному направлению кроются в ряде преимуществ, которыми обладают свободнопоршневые (СП) тепловые двигатели в сравнении с традиционными двигателями, у которых тепловая энергия передается от поршня через кривошипно-шатунный механизм (КШМ) на вращающийся коленчатый вал двигателя.

Ниже представлены результаты сравнительного анализа основных показателей традиционных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и двигателей Стирлинга (ДС), использующих в своей конструкции КШМ, с аналогичными свободнопоршневыми двигателями, обладающими эквивалентными мощностными показателями в диапазоне от 10 до 50 кВт. Оценка основных технических характеристик проводилась с использованием данных лабораторных и серийных образцов двигателей и опубликованных результатов экспериментальных исследований этих двигателей. Для получения объективной картины при сравнении технических характеристик рассматривались эффективный КПД, удельная масса и ресурс двигателей, значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Технические характеристики существующих кривошипно-шатунных и свободнопоршневых образцов ДВС и ДС**

Параметр		Эффективный КПД, %	Удельная масса, кг/кВт	Ресурс, ч
Тип двигателя	Модель			
1	2	3	4	5
ДВС с КШМ	Серийные образцы	≈ 23	≈ 13,5	≈ 30000
СП ДВС	Innas BV, Chiron <sup>2</sup> [1, 2]	50	5,3	-
	Toyota Central R&D Labs Inc. FPEG <sup>2</sup> [3]	42	-	-
ДС с КШМ	«SOLO Kleinmotoren» <sup>1</sup> [4]	25,4	45	180 000
	«United Stirling» P-40 MOD I <sup>2</sup> [5]	35-40	5,8*	-
	«United Stirling» P-40 MOD II <sup>2</sup> [5]	38	3,4*	-

1	2	3	4	5
СП ДС	NASA (15 kW) <sup>2</sup> [6]	46	-	50 000
	SP-100 Space Reactor Program SPDE <sup>2</sup> [7]	-	12,7	60 000
	SP-100 Space Reactor Program СТРС <sup>2</sup> [7]	-	8,7	60 000
	Infinia <sup>1</sup> [8]	32	17	220 000
	«Glenn Research Center» <sup>2</sup> [9]	26,2	-	336 000

<sup>1</sup> – серийный образец;

<sup>2</sup> – экспериментальный образец;

\* – без учета массы нагружающего устройства.

Сравнение осредненных экологических, экономических и основных эксплуатационных показателей, составленное на основе анализа характеристик существующих образцов энергоустановок на базе ДВС, СПДВС, ДС и СПДС эквивалентной мощности, представлено в таблице 2. Сравнение представлено в виде балльной системы, при этом большее количество баллов ("У") соответствует высшему значению оцениваемого показателя.

Таблица 2

**Сравнение основных показателей кривошипно-шатунных  
и свободнопоршневых ДВС и ДС**

Тип двигателя	ДВС		ДС	
	<i>КШМ</i>	<i>СП</i>	<i>КШМ</i>	<i>СП</i>
Кинематическая схема				
<i>Экономические показатели</i>				
Эффективный КПД	У	УУ	УУУ	УУУУ
Материалоемкость	УУУ	УУУУ	У	УУ
<i>Экологические показатели</i>				
Уровень выбросов вредных веществ с ОГ	У	УУУ	УУУ	УУУ
Виброакустические показатели	У	УУ	УУ	УУУ
<i>Эксплуатационные показатели</i>				
Массогабаритные параметры	УУУ	УУУУ	У	УУ
Многотопливность	У	УУУ	УУУУ	УУУУ
Ресурс	У	УУ	УУУ	УУУУ
Периодичность ТО	У	УУ	УУ	УУУ
Масштабируемость	У	УУ	У	УУ

Результаты проведенного исследования подтвердили положительное влияние свободнопоршневой кинематической схемы в сравнении с кривошипно-шатунной на основные показатели ДВС и ДС.

Сравнивая экономические показатели, можно отметить, что несомненным преимуществом по тепловой эффективности обладают двигатели с внешним подводом теплоты, однако стоит подчеркнуть, что использование свободнопоршневой схемы лишь усиливает значение эффективного КПД, причем это касается и ДВС. В отношении материалоемкости, отражающей номенклатуру используемых деталей, технологичность и стоимость изготовления того или иного двигателя, кривошипно-шатунные схемы заметно отстают от свободнопоршневых, при этом разрыв наиболее заметен у ДВС.

Оценивая экологические показатели, очевидно незначительное доминирование ДС над ДВС, использующих свободнопоршневые схему в части виброакустического воздействия на окружающую среду, а также явное превосходство каждого из указанных типов двигателей в своем сегменте над кривошипно-шатунными двигателями. В случае СПДВС основным объяснением уменьшения концентрации вредных веществ в отработавших газах является возможность управление геометрической степенью сжатия, что позволяет оптимизировать процесс сгорания в двигателе, а также реализовать процесс управляемого гомогенного самовоспламенения (НССИ). В свою очередь, уменьшение виброакустического воздействия на окружающую среду как у ДВС, так и у ДС с свободнопоршневой кинематикой объясняется, как уже было сказано ранее, меньшим количеством, а следовательно, и массой подвижных элементов, а также возможностью полного уравнивания энергоустановки от инерционных нагрузок путем использования парной схемы с противоположно движущимися поршнями.

Распределение позиций при оценке эксплуатационных показателей не так однозначно, как при вышеописанном сравнении экономических и экологических показателей. Так, в части показателей компактности и мобильности лидируют ДВС, при этом даже самые тяжелые и громоздкие ДВС с КШМ превосходят по своим массогабаритным параметрам наиболее совершенные из свободнопоршневых ДС. С точки зрения многотопливности, безусловно, доминируют ДС, т.к. они способны работать на большинстве существующих видах энергии, в т.ч. солнечной и геотермальной, однако, не стоит упускать из вида возможность применения различных видов автомобильных топлив в ДВС, которая появляется благодаря способности варьирования степенью сжатия при использовании свободнопоршневой кинематической схемы. Что касается ресурсных показателей, а также частоты проведения технического обслуживания, то по данным показателям сегментно двигатели с внешним подводом опережают ДВС, при этом данные показатели СПДВС находятся на уровне ДС с КШМ. Завершая оценку эксплуатационных показателей, отметим, что применение свободнопоршневой кинематической схемы, как в случае с ДВС, так и с ДС позволяет обеспечить масштабируемость путем использования отдельных двигателей как универсальных модулей при компоновке энергоустановок различной мощности.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ технических характеристик демонстрирует превосходство свободнопоршневых тепловых двигателей над кривошипно-шатунными аналогами, подтверждая актуальность и необходимость развития данного научного направления.

*Настоящий доклад подготовлен в ходе реализации НИР, выполняемой при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, регистрационный номер СП-264.2015.1*

### Список литературы

1. Achten P.A.J., van den Oever J.P.J., Potma J., Vael G.E.M. «Horsepower with Brains: The Design of the CHIRON Free Piston Engine», SAE Paper № 2000-01-2545, 2000.
2. Chiron Free Piston Engine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.innas.com/CFPE.html>. (дата обращения: 05.08.2015).
3. Kosaka, H., Akita, T., Moriya, K., Goto, S. et al. (2014) “Development of Free Piston Engine Linear Generator System Part 1 – Investigation of Fundamental Characteristics,” SAE Technical Paper 2014-01-1203 doi: 10.4271/2014-01-1203.
4. Rapport SGC 144. Demonstration Stirling Engine based Micro-CHP with ultra-low emissions. Rolf Öberg, Fredrik Olsson, Magnus Pålsson. Svenskt Gastekniskt Center (2004).
5. W.D. Ernst and R.K. Shaltens, “Automotive Stirling Engine Development Project,” NASA CR–190780, Mechanical Technology Incorporated, Latham NY and Lewis Research Center, Cleveland, OH (1997).
6. Dochat George R.: Design Study of a 15 kW Free-Piston Stirling Engine -Linear Alternator for Dispersed Solar Electric Power Systems. (MIT 79TR47, Mechanical Technology, Inc.; DOE Contract DEN-3-56.) DOE/NASA/O056-79/1, NASA CR-159587, 1979.
7. J.G. Slaby, “Overview of Free-Piston Stirling Engine Technology for Space Power Application,” NASA TM–88886, Lewis Research Center, Cleveland, OH (1987).
8. Presentation. 30 kW Maintenance Free Stirling Engine for High Performance Dish Concentrating Solar Power. Contract No. DE-FC36-08GO18032. 2010.
9. Wilson, S.D., “Stirling Convertor Extended Operation Testing Overview,” International Energy Conversion Engineering Conference, Nashville Tennessee, 2010, AIAA-2010-6694.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕРТИКАЛИЗАЦИИ ПАЦИЕНТА

**Яцун С.М.**

заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин, д-р мед. наук,  
профессор, ФГБОУ ВО Курский государственный университет,  
Россия, г. Курск

**Тарасов О.С.**

аспирант кафедры мехатроники и робототехники,  
ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет, Россия, г. Курск

В статье рассмотрены вопросы исследования опытного образца биомехатронного устройства для вертикализации человека. Предлагаемое устройство обеспечивает заданную биомеханику движений. Также оно может быть использовано для изучения характера движения отдельных звеньев опорно-двигательного аппарата, необходимого при создании активных средств, улучшающих качество жизни постинсультных и спинальных больных.

*Ключевые слова:* моделирование, биомехатронное устройство, опорно-двигательный аппарат, вертикализация.

По данным Всемирной Организации Здравоохранения последние годы неуклонно увеличивается количество пациентов с различными травматическими повреждениями [1, с. 45.]. Статистические данные свидетельствуют, что у подавляющего большинства из них имеют место двигательные рас-

стройства, в том числе, нарушение возможности поддержания вертикальной позы.

Успехи современной медицины привели к смещению акцента в лечении этого контингента больных с проблем выживания на улучшение качества жизни. Ключевую роль в этом играет восстановление возможности удержания вертикальной позы, позволяющей повысить мобильность вне зависимости от двигательного статуса пациента.

В связи с этим особый интерес представляют биомехатронные системы, способные моделировать и изучать в реальном масштабе времени характер движения отдельных звеньев опорно-двигательного аппарата человека [2]. В данной статье рассматривается устройство, позволяющее осуществлять подъем и перевод пациента из положения «сидя» в положение «стоя».

Поставленные в работе задачи решались с применением методов экспериментального определения характера движения пациента при вертикализации.

На кафедре мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета разработан прототип устройства для вертикализации пациента, который состоит из четырех звеньев на опорной поверхности, соединенных электроприводами и шарнирами [3].

В рамках эксперимента исследовалось движение человека в процессе "встал-сел". Для определения абсолютных углов, определяющих положение устройства в режиме "встал-сел" были проведены экспериментальные исследования, позволившие найти зависимости углов во времени. В дальнейшем они использовались как задающие воздействия в системе автоматического управления. Углы измерялись с помощью акселерометров и потенциометров. Была проведена обработка видеозаписи эксперимента.

На основании полученных данных построена математическая модель, позволяющая определить в реальном масштабе времени моменты, действующие в электроприводах устройства, которые обеспечивают заданное движение пациента.

В общем случае, в подъеме пациента могут принимать участие, как электроприводы, так и мышечно-связочный аппарат. Поэтому система управления устройством должна обеспечивать контроль за моментами электроприводов, скоростью и ускорением звеньев при подъеме пациента и обеспечивать гарантированное устойчивое положение.

В ходе выполнения работы, были получены зависимости углов поворота звеньев системы, действующих в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, построена математическая модель движения человеко-машинного комплекса и предложен метод оценки характера изменения приведенных моментов. На базе экспериментальных данных разработан алгоритм управления, оптимизирующий процессы вертикализации пациента.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ. Соглашение № 14-39-00008 от 09.09.2014 г.*

### **Список литературы**

1. Головин В.Ф., Архипов М.А., Журавлев В.В. Биомехатроника в медицинской робототехнике // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – №12. – С.45-48.
2. Yatsun S. Development bioengineering mechatronic module for exoskeleton human leg / S.Yatsun, A. Rukavitsyn // NaukaiStudia, 2013. – NR 17 (85), Przemysł (Польша). PP. 39-46.
3. Турлапов Р.Н., Яцун С.М. Разработка и исследование реабилитационного устройства для механотерапии нижних конечностей // Фундаментальные исследования – 2014. – № 12, Ч. 9. – С. 1909-1911.

Подписано в печать 10.11.2016. Гарнитура Times New Roman.  
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 17,20. Тираж 100 экз. Заказ № 267  
ООО «ЭПИЦЕНТР»  
308010, г. Белгород, ул. Б.Хмельницкого, 135, офис 1  
ИП Ткачева Е.П., 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а