

АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

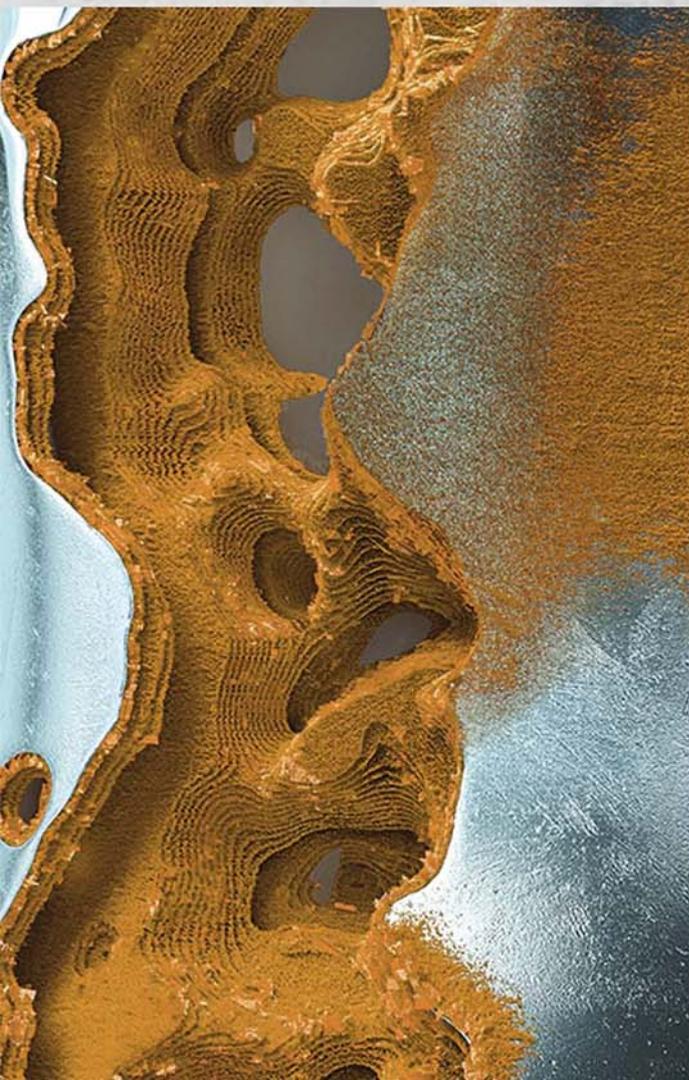
# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ СБОРНИК

ПО МАТЕРИАЛАМ XXI МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
Г. БЕЛГОРОД, 30 ДЕКАБРЯ 2016 Г.



2016 № 12-3  
ISSN 2413-0869



АГЕНТСТВО ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
(АПНИ)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ  
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

**2016 • № 12, часть 3**

**Периодический научный сборник**

*по материалам  
XXI Международной научно-практической конференции  
г. Белгород, 30 декабря 2016 г.*

ISSN 2413-0869

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

2016 • № 12-3

### 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](http://issledo.ru)

E-mail: [mail@issledo.ru](mailto: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](http://www.issledo.ru)

*По материалам XXI Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий» (г. Белгород, 30 декабря 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*, заместитель первого проректора – начальник управления инновационного развития 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>Агапов Р.О.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА НАЛИЧИЕ МОДУЛЯЦИИ ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ .....	5
<i>Баканов М.О., Никишов С.Н.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА .....	7
<i>Беднаж В.А., Алишов Ш.</i> ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ АЗЕРБАЙДЖАНА .....	10
<i>Белокопытов М.Л., Харитонов А.С., Морозов С.В., Бетин С.А.</i> НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ СЛОЖНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВОЕННОГО И ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....	12
<i>Бочаров Д.С., Молчанов А.А., Фахриева С.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРЫВА ФАЗНЫХ И НУЛЕВЫХ ПРОВОДОВ НА УРОВНИ ИСКАЖЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПО НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СЕТИ 380 В .....	19
<i>Каныгин Г.И.</i> РАСЧЕТ ОБОБЩЕННЫХ СИЛ ПРИ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗМУЩЕНИИ ОТ НЕРОВНОСТЕЙ ПОЛЯ .....	22
<i>Капинос Ю.А., Ромашкова О.Н.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕМАТИКА» В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ .....	25
<i>Клепиков А.К.</i> ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ПРОГРАММНОГО БАЛАНСИРОВЩИКА T1CLOUDBALANCER В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ ФИНАНСОВОЙ СФЕРЫ.....	30
<i>Королев Н.Я.</i> ГИДРОИСПЫТАНИЯ СТАЛЬНЫХ ТРУБ.....	32
<i>Королев Н.Я.</i> РАСПРУЖИВАНИЕ СТАЛЬНОГО БРУСА .....	40
<i>Королев Н.Я.</i> ТРЕХВАЛКОВАЯ ГИБОЧНАЯ МАШИНА .....	48
<i>Королев Н.Я.</i> ФОРМОВКА СТАЛЬНОГО ЛИСТА НА ТРУБНОМ ПРЕССЕ .....	56
<i>Крупник В.Ш., Остросаблин В.И.</i> АДАПТИВНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТИПОВ (КЛАССОВ) СОЦИОГРАММ ПРОФЕССИЙ.....	65
<i>Кулешов А.Н., Андреев Л.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА САЛОНОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА УСЛОВИЯ ТРУДА И МЕТОДЫ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ .....	68
<i>Медведев Д.А., Лецинкова А.В., Шамилбеков К.Ш.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПОИСКА ПУТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА A* .....	71
<i>Мордовский С.С.</i> ВНЕЦЕНТРЕННО НАГРУЖЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОЛОННЫ С АРМАТУРОЙ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ПО КОНТУРУ СЕЧЕНИЯ.....	75
<i>Орлова А.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СМК В АТТЕСТАЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ ПО СВАРОЧНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ СИСТЕМЫ НАКС В СВЯЗИ С ВЫХОДОМ ИСО 9001-2015.....	79
<i>Тараканов Д.В., Палин Д.Ю., Кузнецов А.В., Саттаров И.Ф.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ В СОЦИАЛЬНЫХ ЗДАНИЯХ.....	86

<b>Тараканов Д.В., Гринченко Б.Б.</b> МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ ...	89
<b>Харитонова А.М.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	92
<b>Хоркин В.Н.</b> ВКАТАННЫЙ ПРИГАР НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ .....	96
<b>Хоркин В.Н.</b> ГОФР КРОМКИ СТАЛЬНОГО ЛИСТА ПРИ ФОРМОВКЕ НА ПРЕССЕ ....	104
<b>Хоркин В.Н.</b> НЕПРОВАР ПРОДОЛЬНОГО СВАРНОГО ШВА СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ .....	113
<b>Хоркин В.Н.</b> РИСКА НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ .....	121
<b>Цзоция Си, Синьюань Ли</b> АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПРИСАДКИ ДЛЯ НЕФТИ QUICKFLOW .....	129
<b>Шарипов В.М., Щетинин Ю.С., Есеновский-Лашков М.Ю.</b> КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ДВУХПОТОЧНЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ .....	131
<b>Шинкин В.Н.</b> ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СЕМИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ .....	138
<b>Шинкин В.Н.</b> РЕАКЦИИ РАБОЧИХ РОЛИКОВ ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	142
<b>Шинкин В.Н.</b> СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧИХ РОЛИКОВ НА ЛИСТ В СЕМИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ .....	146
<b>Шинкин В.Н.</b> ФОРМА ЛИСТА В ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ ...	149

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
НА НАЛИЧИЕ МОДУЛЯЦИИ ВТОРИЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Аганов Р.О.*

студент кафедры информационной безопасности систем и технологий,  
Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза

В статье рассматривается метод поиска модуляции вторичного излучения с помощью комплекса «Крона А1» и описан результат исследования технических средств на наличие эндовибраторных свойств.

*Ключевые слова:* модуляция, вторичное излучение, эндовибратор, аудиотранспондер, акустический сигнал, антенна.

Аудиотранспондеры (акустопараметрические преобразователи, вторичные излучатели) состоят из переизлучающей антенны с резонансной системой, настроенной на частоту облучающего высокочастотного сигнала, приемника акустических колебаний и модулятора, как показано на рисунке 1.



Рис. 1. Схема аудиотранспондера

Выявление эндовибраторов основано на облучении обследуемых объектов высокочастотным электромагнитным полем (от 30 до 12000 МГц) при одновременном акустическом воздействии с последующим приемом переизлученного (отраженного) сигнала и его анализом на наличие модуляции, обусловленной этим акустическим воздействием [1]. Общая схема аппаратуры выявления показана на рисунке 2.

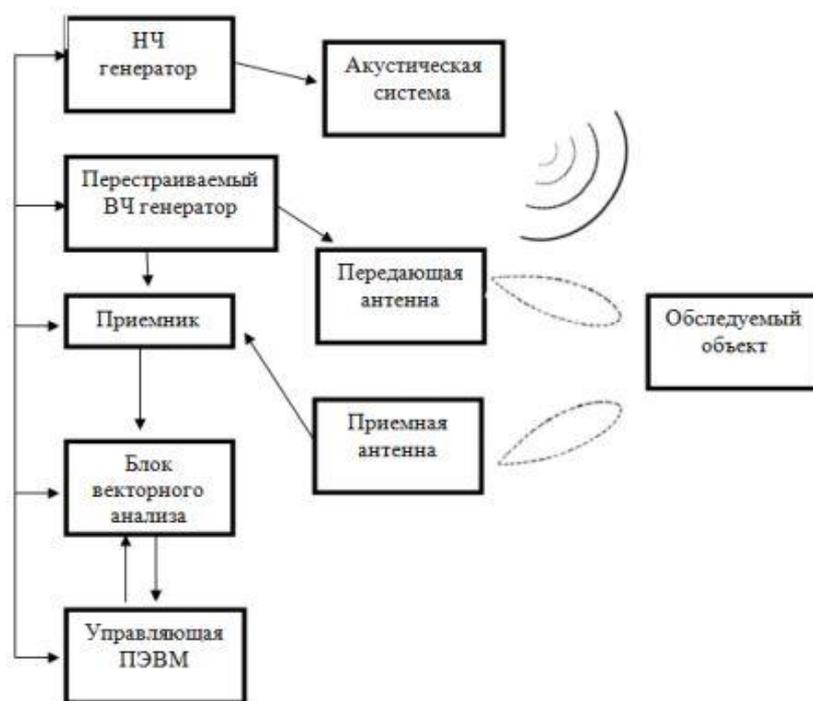


Рис. 2. Общая схема аппаратуры выявления эндовибраторов

В качестве обследуемых объектов были выбраны и проверены монитор Philips 193V5LSB2 и ноутбук «Урал-12» (модель 5012 РДПИ.466226.004).

Облучающий сигнал на передающей антенне формируется ВЧ генератором под управлением ПЭВМ. Отраженный сигнал принимается приемной антенной и попадает на вход приемника и далее от него на вход блока векторного анализа. ВЧ генератор и приемник синхронно перестраиваются в процессе сканирования заданного диапазона, благодаря чему находятся постоянно на одной частоте [1].

Акустический сигнал формируется генератором звуковой частоты и подается на активную акустическую систему, создающую достаточное акустическое давление на обследуемый объект. При настройке оборудования на резонансную частоту эндовибратора блок векторного анализа выявляет наличие в демодулированном сигнале низкочастотных составляющих, соответствующих тем, что содержатся в излученном акустическом сигнале.

Перед проведением обследования были убраны из зоны облучения экранирующие предметы: металлические шкафы, сейфы, зеркала и т.д. Размеры обследуемой зоны определялись как расстоянием от нее до антенны аппаратуры облучения, так и шириной диаграммы направленности антенн. В ходе проведения обследования акустический излучатель располагался за аппаратурой облучения (для исключения приема модулированных ВЧ сигналов, отраженных от этого излучателя).

Модулированный ВЧ сигнал может быть переизлучен предметом, обладающим эндовибраторными свойствами, при воздействии на него как излучения генератора сигналов аппаратуры поиска, так и излучения от постоянного источника (сигналы радиовещательных станций, излучения технических средств и т.п.).

Признаки, позволяющие судить о том, что облучаемый объект обладает эндовибраторными свойствами:

- отклик появляется при направлении антенной системы на облучаемый объект;

- в наушниках прослушивается акустический фон помещения (при выключении озвучивающего сигнала отклик пропадает);

- легкое постукивание диэлектрическим предметом по облучаемому предмету прослушивается в наушниках аппаратуры [2].

Выбранные технические средства были по очереди установлены на стол, на них были направлены передающая и приёмная антенны, а также акустическая колонка. В окне «Задание» комплекса «Крона А» были установлены необходимые параметры и запущено сканирование. В ходе сканирования указанные в предыдущем абзаце признаки у выбранных технических средств не были выявлены. Это позволило сделать вывод о том, что выбранные для исследования технические средства не обладают эндовибраторными свойствами.

Таким образом, на основе результатов проведённого исследования было принято решение о том, что организация дополнительных мер по обеспечению защиты речевой информации от утечек по техническим каналам не требуется, так как выбранные технические средства не обладают эндовибраторными свойствами.

#### **Список литературы**

1. Бузов Г.А. Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам, 2014 г., 586 с.

2. Инструкция по эксплуатации «КРОНА А1», г. Москва, 2012 г. URL: [http://www.nelk.ru/files/Instruktsiia\\_na\\_Krona\\_A1.pdf](http://www.nelk.ru/files/Instruktsiia_na_Krona_A1.pdf) (дата обращения: 20.12.2016).

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА**

***Баканов М.О.***

начальник кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ, канд. техн. наук, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, г. Иваново

***Никишов С.Н.***

старший преподаватель кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, г. Иваново

В статье исследованы вопросы в отношении компьютерного проектирования систем обнаружения и тушения пожара.

*Ключевые слова:* проектирование, система, обнаружение, тушение, пожар.

В современных условиях развития и внедрения информационных технологий в сферы трудовой деятельности человека, вопросы проектирования

активных систем противопожарной защиты не остались без внимания. Создаются современные системы автоматического проектирования (САП), решающие многочисленные систематизированные и взаимосвязанные задачи противопожарной защиты.

В работе [1] авторами обоснована возможность построения систем компьютерного моделирования процессов тушения пожара по модульному принципу. Это основано на том, что каждая задача-функция системы отдельно алгоритмируется и реализуется в виде компьютерного модуля. Однако, вопросы реализации отдельных моделей процессов развития и тушения пожаров требуют дополнительных обсуждений. Для практического внедрения моделей процессов развития и тушения пожаров в проектирование систем противопожарной защиты необходимо получить аналитические решения уравнений пожара. В качестве теоретической основы расчета параметров средств защиты от пожаров лежит математическая модель [2,3] для которой получены аналитические решения.

Формулы зависимости параметров пожара от времени пожара в защищаемых объемах помещения относительно среднеобъемных плотностей параметров газовой среды и среднеобъемной температуры записываются следующим образом:

- парциальные плотности токсичных продуктов горения

$$\rho_m = \rho^* (1 - \exp(-a \cdot M/V)), \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \quad (1)$$

- оптическая плотность дыма

$$\mu_m = \mu^* (1 - \exp(-a \cdot M/V)), \text{ Нп} \cdot \text{м}^2 \quad (2)$$

- среднеобъемная температура газовой среды в помещении

$$T_m = [(T^*)^{-1} + ((T_0)^{-1} - (T^*)^{-1}) \cdot \exp(-a \cdot M/V)]^{-1}, \text{ К} \quad (3)$$

где  $\rho^* = L_i/a$  – пороговая плотность токсичного продукта,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$L_i$  – количество токсичного продукта, выделяющееся при сгорании массы горючей нагрузки,  $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

$\mu^* = D/a$  – пороговая оптическая плотность дыма  $\text{Нп} \cdot \text{м}^2$ ;

$D$  – дымообразующая способность горючего материала,  $\text{Нп} \cdot \text{м}^{-1}$ ;

$T^*$  – пороговая (максимальная) среднеобъемная температура газовой среды в помещении, К.

$V$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ ;

$M$  – массы выгоревшего материала за время  $t$ , кг.

$a$  – параметр газовой среды в помещении,  $\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Параметр,  $a$  рассчитывается по формуле:

$$a = \eta Q_{\text{НР}} (1 - \varphi) \cdot (C_p T_0 \rho_0), (\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}), \quad (4)$$

где  $\eta$  – коэффициент полноты сгорания горючей нагрузки;

$Q_{\text{НР}}$  – низшая теплота сгорания горючей нагрузки,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;

$\varphi$  – коэффициент теплопоглощения;

$\rho_0$  – начальное значение плотности газовой среды, в помещении,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$T_0$  – начальная температура газовой среды в помещении, К.

Масса горючего материала, выгорающего за время  $t$ , рассчитывается по формуле:

$$M = A \cdot \tau^n, \text{ кг} \quad (5)$$

A и n – коэффициент, характеризующий особенности распространения горения.

Например, при круговом распространении пламени по поверхности горения:

$$A = (\pi/3) \cdot \psi_0 \cdot v_1^2$$

$v_1$  – линейная скорость распространения пламени, м·с<sup>-1</sup>;

В данном случае показатель развития пожара равен n=3.

Вычислив время развития пожара и массу выгоревшего материала определяем площадь очага пожара, например, для кругового развития пожара имеем

$$S_{\text{гор}} = \pi \cdot (v_1 \cdot \tau)^2, \text{ м}^2 \quad (6)$$

А зная удельный расход огнетушащего вещества определяем необходимое количество огнетушащего вещества по формуле:

$$m_{\text{отв}} = S_{\text{гор}} \cdot q_{\text{отв}}, \text{ кг} \quad (7)$$

$q_{\text{отв}}$  – удельный расход огнетушащего вещества, кг·м<sup>-2</sup>.

Реализация вычислительного модуля в программном средстве выполнена в режиме реального времени.

Программное средство для расчета использует файл с планировкой помещения в формате jpg. Отображение результатов моделирования (имитации) осуществляется в режиме реального времени в табличной форме (рис. 1). Визуализация результатов расчетов осуществляется с помощью графиков зависимости исследуемого параметра от времени (рис. 2). Модуль реализующий вычисления может быть интегрирован в САПР модульного типа.

Время	S	M	П1 р	П1 Т	П1 Дым	П1 CO	П1 CO2
74	2,00558	2,47355	1,09236	324,55420	12,45119	0,00033	0,0
75	2,06915	2,57519	1,08813	325,81545	12,89875	0,00035	0,0
76	2,11546	2,67958	1,08383	327,10736	13,35361	0,00036	0,0
77	2,17149	2,78675	1,07947	328,43003	13,81560	0,00037	0,0
78	2,22826	2,89674	1,07504	329,78355	14,28452	0,00038	0,0
79	2,28576	3,00959	1,07054	331,16801	14,76020	0,00040	0,0
80	2,34400	3,12533	1,06599	332,58345	15,24242	0,00041	0,0
81	2,40296	3,24400	1,06137	334,02989	15,73099	0,00042	0,0
82	2,46266	3,36564	1,05670	335,50733	16,22568	0,00044	0,0
83	2,52309	3,49028	1,05197	337,01574	16,72626	0,00045	0,0
84	2,58426	3,61796	1,04719	338,55507	17,23250	0,00046	0,0
85	2,64615	3,74872	1,04235	340,12524	17,74417	0,00048	0,0
86	2,70878	3,88259	1,03747	341,72612	18,26100	0,00049	0,0
87	2,77214	4,01961	1,03254	343,35758	18,78275	0,00050	0,0
88	2,83624	4,15981	1,02757	345,01943	19,30915	0,00052	0,0
89	2,90106	4,30324	1,02255	346,71148	19,83992	0,00053	0,0
90	2,96662	4,44993	1,01750	348,43347	20,37479	0,00055	0,0
91	3,03291	4,59992	1,01241	350,18514	20,91349	0,00056	0,0
92	3,09994	4,75324	1,00728	351,96615	21,45571	0,00058	0,0

Рис. 1. Визуализация процесса вычисления

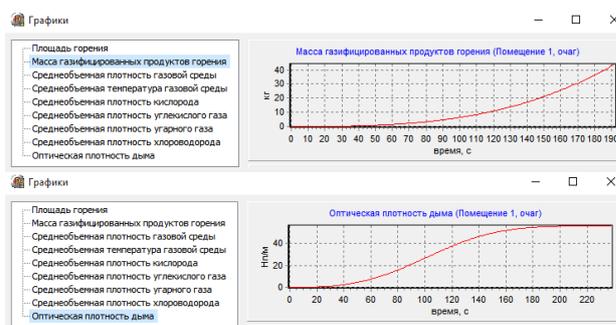


Рис. 2. Графики параметров развития и тушения пожара

### Список литературы

1. Тараканов Д.В., Варламов Е.С., Илеменов М.В. Компьютерное моделирование процессов развития и тушения пожаров в зданиях // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – Выпуск № 5 (57). – 10 с. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
2. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Соловьев Р.А., Мурзин Н.В., Тараканов Д.В., Лапшин С.С. Математическая модель развития пожара в системе помещений // Вестник МГСУ. – 2013. №4. С. 121-128.

3. Кошмаров Ю.А., Лапшин С.С., Тараканов Д.В. Динамика ОФП в помещении смежном с очагом пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация №1 – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. С: 67-75.

4. Баканов М.О., Никишов С.Н. Программа для расчета геометрических характеристик размещения элементов систем пожаротушения / Свидетельство о регистрации программы ЭВМ №2016614701 от 28 апреля 2016 г.

## ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ АЗЕРБАЙДЖАНА

*Беднаж В.А.*

доцент кафедры математического анализа, канд. физ.-мат. наук, доцент,  
Брянский государственный университет им. ак. И.Г. Петровского,  
Россия, г. Брянск

*Алишов Ш.*

магистр кафедры информатики и прикладной математики,  
Брянский государственный университет им. ак. И.Г. Петровского,  
Россия, г. Брянск

Статья посвящена обобщению имеющейся информации по подключению учебного заведения к Азербайджанской Образовательной сети.

*Ключевые слова:* корпоративная сеть, каналы связи, сетевая инфраструктура.

Начиная с “Государственной Программы Информатизации Системы Образования 2008-2012 гг.” по сегодняшний день ведётся процесс подключения всех учебных заведений страны в единую корпоративную сеть образования – Азербайджанскую Образовательную Сеть.

Для подключения учебного заведения к Азербайджанской Образовательной Сети компанией **AzEduNet** выполняется ряд процедур. Для начала Министерство Образования выясняет готовность учебного заведения к подключению:

- Географическое расположение учебного заведения (город, деревня, аул в горах и т.д.);
- Состояние ремонта учебного заведения;
- Наличие ИКТ оборудования учебного заведения;
- Наличие подключения учебного заведения к Интернету и т.д.

В случае готовности учебного заведения к подключению со стороны Министерства Образования регистрируется заявка в **AzEduNet** на подключение учебного заведения к Азербайджанской Образовательной Сети.

В **AzEduNet** заявка на подключение проходит по нескольким стадиям.

На первой стадии заявка попадает в Департамент Инфраструктуры **AzEduNet** на возможность подключения учебного заведения:

- Наличие оборудования на ближайшем до учебного заведения АТС;
- Расстояние от учебного заведения до этого АТС;

- В случае отсутствия соответствующего оборудования на АТС или большого расстояния до него проверяется наличие 3G сигнала связи сотового оператора связи;

- В случае отсутствия 3G сигнала связи сотового оператора проверяется наличие спутникового канала связи национального оператора спутниковых каналов связи.

После выяснения технической возможности подключения учебного заведения к Азербайджанской Образовательной Сети Департаментом Инфраструктуры **AzEduNet** начинается процесс подключения последней мили.

После подключения последней мили Департаментом Инфраструктуры **AzEduNet** заявка на подключение учебного заведения к Азербайджанской Образовательной Сети переходит в Департамент Технической Поддержки **AzEduNet**. Задача этого департамента:

- Монтаж локальной сети в учебном заведении;
- Установка неуправляемого сетевого оборудования для подключения локальной сети;
- Техническая профилактика всего имеющегося в учебном заведении ИКТ оборудования;
- В случае выдачи нового оборудования учебному заведению его установка и настройка.

После завершения всех подготовительных работ Департаментом Технической Поддержки **AzEduNet** заявка на подключения учебного заведения к Азербайджанской Образовательной Сети передаётся в Департамент Сетевой Поддержки **AzEduNet**. Этот департамент отвечает за:

- Подключение оборудования последней мили учебного заведения;
- Подключение всех компьютеров учебного заведения к Интернету.

Начиная с 2008-го года ряд учебных заведений страны участвует в проекте “Электронная школа”. В рамках этого проекта учебные заведения к Азербайджанской Образовательной Сети подключаются выделенным Оптическим кабелем с предоставлением дополнительных сервисов:

- Системы ИП телефонии;
- Системы Видео Конференции;
- Комплексной беспроводной сети;
- Электронного журнала;
- Доступа к виртуальным ресурсам в Дата Центре при Министерстве Образования и др.

Учебные заведения подключаются к Азербайджанской Образовательной Сети несколькими способами:

- Выделенным оптическим линком;
- По телефонной линии ADSL технологией;
- Беспроводным способом по 3G технологии;
- Беспроводным способом спутниковым подключением.

Тип подключения зависит от ряда факторов. Оптимальным способом подключения является выделенное оптическое подключение, которое обес-

печивает симметричный высокоскоростной канал связи. Учебные заведения, подключённые оптическим каналом связи, обеспечены более надёжным подключением к виртуальным ресурсам в Дата Центре. Однако не всегда есть техническая возможность оптического подключения учебных заведений. В случае невозможности обеспечения оптического подключения учебное заведение подключается телефонным кабелем по ADSL технологии с максимально возможной скоростью подключения. Скорость подключения в этом случае зависит от качества телефонной линии и расстояния до АТС. В случае отсутствия соответствующего оборудования на АТС или слишком большого расстояния до АТС становится невозможным даже ADSL подключение учебного заведения. В этом случае ищется альтернативный беспроводной тип подключения. В случае предоставления сотовыми операторами связи качественного 3G сигнала учебное заведение подключается к образовательной сети по 3G технологии. В противном случае используется спутниковое подключение учебного заведения к Азербайджанской Образовательной Сети.

#### **Список литературы**

1. Беднаж В.А., Алишов Ш. Развертывание сетей архитектуры Cisco в системе образования Азербайджана // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 58-59.
2. AzEduNet объединяет сотни учебных заведений в Азербайджане. URL: <http://news.day.az/economy/355153.html>

## **НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ СЛОЖНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВОЕННОГО И ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Белокопытов М.Л., Харитонов А.С.*

адъюнкты 34 кафедры, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского  
Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Санкт-Петербург

*Морозов С.В.*

научный сотрудник научно-испытательного управления, Войсковая часть 32103  
Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Краснознаменск

*Бетин С.А.*

адъюнкт 34 кафедры, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского  
Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Санкт-Петербург

В настоящей статье рассматривается одна из важнейших системотехнических проблем, возникающая при испытании и штатной эксплуатации сложных автоматизированных информационно-управляющих систем военного и двойного назначения, связанная с защищённостью информационных ресурсов. Осуществлён комплексный анализ проведения летных испытаний космических аппаратов военного и двойного назначения. Приве-

дены основные показатели информационной безопасности. Описаны современные методы обеспечения конфиденциальности информации, циркулирующей в радиоканалах «борт-земля».

*Ключевые слова:* информационно-управляющая система, космический комплекс, космический аппарат, безопасность информации, защита информации, конфиденциальность.

## **Введение**

В настоящее время при испытании и эксплуатации сложных автоматизированных информационно-управляющих систем военного и двойного назначения к ним предъявляются всё более жёсткие требования по обеспечению защищённости канала связи, направленные как на снижение негативных последствий деструктивного воздействия помех, так и на ограничение несанкционированного доступа к каналам передачи информации. Прежде всего, это обусловлено активной деятельностью злоумышленников и важностью передаваемой информации. В связи с этим всё более актуальными становятся вопросы обеспечения информационной безопасности автоматизированной системы – такого её состояния, при котором на требуемом уровне обеспечивается защищённость её информационных ресурсов от внешних и внутренних угроз информационной безопасности (ИБ) [1].

Наибольшую опасность при передаче информации представляют внешние угрозы ИБ, которые реализуются в рамках противоправных действий злоумышленников. При этом самыми уязвимыми показателями ИБ, на которые чаще всего воздействуют злоумышленники, является конфиденциальность и информационная скрытность. Основными последствиями реализации внешних угроз являются утрата, утечка, искажение и подмена информации [1]. Исходя из этого, для эффективного функционирования сложных автоматизированных информационно-управляющих систем необходимо постоянно обеспечивать требуемый уровень конфиденциальности и информационной скрытности передаваемых сообщений.

Особую значимость при реализации угроз ИБ для злоумышленников представляют процессы испытания и эксплуатации сложных автоматизированных информационно-управляющих систем военного и двойного назначения, таких как космический комплекс. Под космическим комплексом (КК) будем подразумевать совокупность функционально взаимосвязанных орбитальных и наземных технических средств, предназначенную для самостоятельного решения задач в космосе и из космоса или для обеспечения решения таких задач в составе космической системы (КС) [7]. В этих случаях передаваемые по радиоканалу между элементами КК сообщения могут нести в себе охраняемые сведения о тактико-технических характеристиках космического аппарата (КА), лётно-технических и боевых характеристиках разрабатываемых ракет-носителей, межконтинентальных баллистических ракет и противоракет, а также навигационно-баллистических параметрах орбиты КА (как составной части КК).

## **Комплексный анализ проведения летных испытаний КА военного и двойного назначения**

В настоящее время применение космических комплексов переживает этап бурного развития. Практически все новые системы используют цифровые технологии, что позволяет работать в реальном масштабе времени. Значительно возросло количество новых КА и КС с различным спектром решаемых целевых задач. В сотни раз увеличился объем информации, циркулирующей по радиоканалу «борт – земля». Модернизация электронной компонентной базы привела к усложнению бортовой радиоэлектронной аппаратуры. Данные особенности накладывают свои ограничения на процессы испытания и применения по назначению КА и ракетоносителей [5].

На сегодняшний день положения руководящих документов и ГОСТов по проведению испытаний КА военного и двойного назначения не отражают комплексного подхода при организации и в ходе проведения испытаний. Одни и те же средства наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) участвуют в проведении испытаний в рамках различных опытно-конструкторских работ (ОКР), возникают проблемы, связанные с сопряжением огромного количества абонентов, с загруженностью средств НАКУ, обеспечением защищенности передаваемой информации. В этой связи необходим всесторонний и комплексный анализ проведения испытаний всей орбитальной группировки (ОГ) КА военного и двойного назначения с выработкой конкретных предложений и путей по совершенствованию всей системы испытаний в целом.

Комплексный анализ проведения испытаний КА военного и двойного назначения необходимо провести поэтапно, рассматривая ОГ КА по их целевому предназначению в отдельности.

Отечественная ОГ навигационных КА представлена глобальной навигационной спутниковой системой ГЛОНАСС и космической навигационно-связной системой (КНС) «Парус». Космический сегмент системы ГЛОНАСС в штатном варианте должен состоять из 24 КА, обращающихся в трех орбитальных плоскостях по 8 КА, равномерно (с интервалом  $45^\circ$  по аргументу широты) разнесенных в каждой из плоскостей. На 01.01.2015 года состав ОГ КА ГНС ГЛОНАСС представлен 30 КА, из которых 24 КА «Глонасс-М» используются по целевому предназначению, 2 КА «Глонасс-М» находятся в резерве и 2 КА «Глонасс-К» на этапе летно-конструкторских испытаний (ЛКИ). КНС «Парус» должна содержать до 6 КА в 6 орбитальных плоскостях, в то время как текущее положение дел говорит лишь о наличии 4 КА, 2 из которых ограничены в применении по управлению и целевому назначению из-за неисправности системы электропитания, а 2 других ограничены по линии связи [3]. Учитывая интенсивность отказов КА ОГ ГЛОНАСС и текущее состояние бортовой аппаратуры (БА) КА, целесообразно изменение процесса проведения испытаний КА навигации и связи с устранением существующих недостатков:

- отсутствие необходимого количества информационных каналов связи и их неустойчивая работа при проведении сеансов связи из-за морального устаревания системы «Простор-Р» и ее низкой пропускной способности;
- не обеспечено устойчивое функционирование непрерывного кратного контроля навигационного поля в ЦУС-У(М);
- в полном объеме не проведены мероприятия по обеспечению конфиденциальности и информационной скрытности.

Отечественная ОГ КА ретрансляции и связи представлена ЕССС 2-го этапа (КК «Меридиан», КК «Глобус-1М») и ГК КРС (КК «Гарпун»). КА «Меридиан» представляет собой высокоэллиптическую составляющую ЕССС, а КА типа «Глобус» – геостационарную. КК «Глобус-1М» представлен двумя КА «Глобус-1М», предназначенными для обеспечения непрерывной передачи сигналов ЦБУ, ЗАС, ТЛГ, ТЛФ, ТВ связи в интересах ВС РФ и высшего военно-политического руководства страны. Штатно группировка должна состоять из 8 КА (по 2 КА в 4-х плоскостях). За 2015 год в ходе проведения испытаний КК «Глобус» выявлено более 40 нештатных ситуаций, из которых одно привело к потере КА «Глобус-1М». Полная группировка КК «Меридиан» должна состоять из 8 КА, но в настоящее время она представлена 6-тью КА в 4-х орбитальных плоскостях, однако по целевому назначению применяется 4 КА (А-401 закрыт из-за разгерметизации гермоконтейнера, А-402 выведен на нерасчетную точку орбиты). За 2015 год выявлено порядка 15 неисправностей и нештатных ситуаций, которые носят проблемный характер в отношении систем работы электропитания борта и его ретрансляционного комплекса.

КК «Гарпун» представлен одним КА «Гарпун» на геостационарной орбите (штатно необходимо 4 КА на геостационарной орбите (ГСО), предназначенным для обеспечения оперативной ретрансляции больших объемов цифровой информации с КА радиотехнической и видовой разведки сверхдетального наблюдения на наземный специальный комплекс (НСК) в реальном масштабе времени в интересах ГРУ ГШ ВС РФ. При проведении ЛКИ возможность применения КА «Гарпун» по целевому назначению отрабатывалась в паре с КА оптико-электронной разведки «Персона», в ходе отработки которых выявлены существенные недостатки в работе бортового ретрансляционного комплекса и специального программного математического обеспечения бортового комплекса управления. Выявлено свыше 100 неисправностей и нештатных ситуаций. Подробная статистическая информация по отработке программ испытаний КА ретрансляции и связи представлена в отчете по ОИР «Подготовка к испытаниям, испытания и летная эксплуатация КА ретрансляции и связи».

Комплексный анализ результатов проведения испытаний КА фото, оптико-электронной, радиотехнической разведки и специальной связи проводился на основе отработки программ испытаний КА «Кобальт-М», «Кондор», «Персона», «Родник» за 2015 год.

КА фоторазведки «Кобальт-М» был запущен 06.05.2014 года. Посадка спускаемого аппарата осуществлена 02.09.2014 года. За время его активного

существования выявлено 7 отказов бортовой аппаратуры, причинами которых стали производственные дефекты аппаратуры дозиметрического контроля и силового гироскопического комплекса. В целом аппарат выполнял целевые функции в объеме решаемых задач. За отчетный период функционирования КА оптико-электронной разведки «Персона» выявлено 38 отказов БА, причинами которых явились единичные производственные дефекты бортового синхронизирующего координатно-временного устройства, системы управления движением КА и аппаратуры высокоскоростной радиолинии [4]. КА специальной связи «Родник» функционирует в интересах ГРУ ГШ. За 2015 год выявлено 4 неисправности, связанные с неустойчивой работой системы обработки и передачи данных. При функционировании КА радиотехнической разведки «Кондор» выявлен 41 отказ БА. Причины неисправностей лежат в программных дефектах специального программного математического обеспечения бортовой цифровой вычислительной машины. Из-за неисправности радиолокатора КА «Кондор» №1 не используется по ЦН.

Таким образом, на основании комплексного анализа проведения испытаний отечественных КА военного и двойного назначения можно сделать вывод о том, что для более эффективного применения ОГ КА по целевому назначению необходимо увеличивать объём и качество проводимых испытаний.

### **Шифрование информации при управлении и информационном обмене с космическим аппаратом**

Анализ современного состояния средств радиотехнической разведки показывает, что возможности злоумышленников по воздействию на передаваемую информацию велики. Применяя ряд космических, воздушных и наземных систем для ведения радиотехнической разведки, потенциальный противник способен получить сведения о расположении наземных измерительных пунктов приема информации, частотах приема и структуре передаваемого сообщения. Для исключения несанкционированного доступа к передаваемой с борта летательного аппарата информации, а также для исключения возможности получения охраняемых сведений о тактико-технических характеристиках КА, летно-технических и боевых характеристиках разрабатываемых ракетоносителей, межконтинентальных баллистических ракет и противоракет, необходимо соблюдать требования по обеспечению информационной безопасности передаваемых сообщений [2].

Информационная безопасность в общем случае представляет собой комплексный показатель качества функционирования радиоэлектронных средств, входящих в состав информационно-управляющих систем, и включает в себя две составляющие: помехозащищённость и безопасность информации. При этом, безопасность информации определяет свойство защищённости информационного ресурса системы от действующих угроз информационной безопасности и состоит из целостности и конфиденциальности. Помехозащищённость, в свою очередь, характеризует способность радиоэлектронных средств выполнять свои целевые задачи в условиях воздействия по-

мех и включает в себя помехоустойчивость и скрытность. Структура показателей ИБ приведена на рисунке.

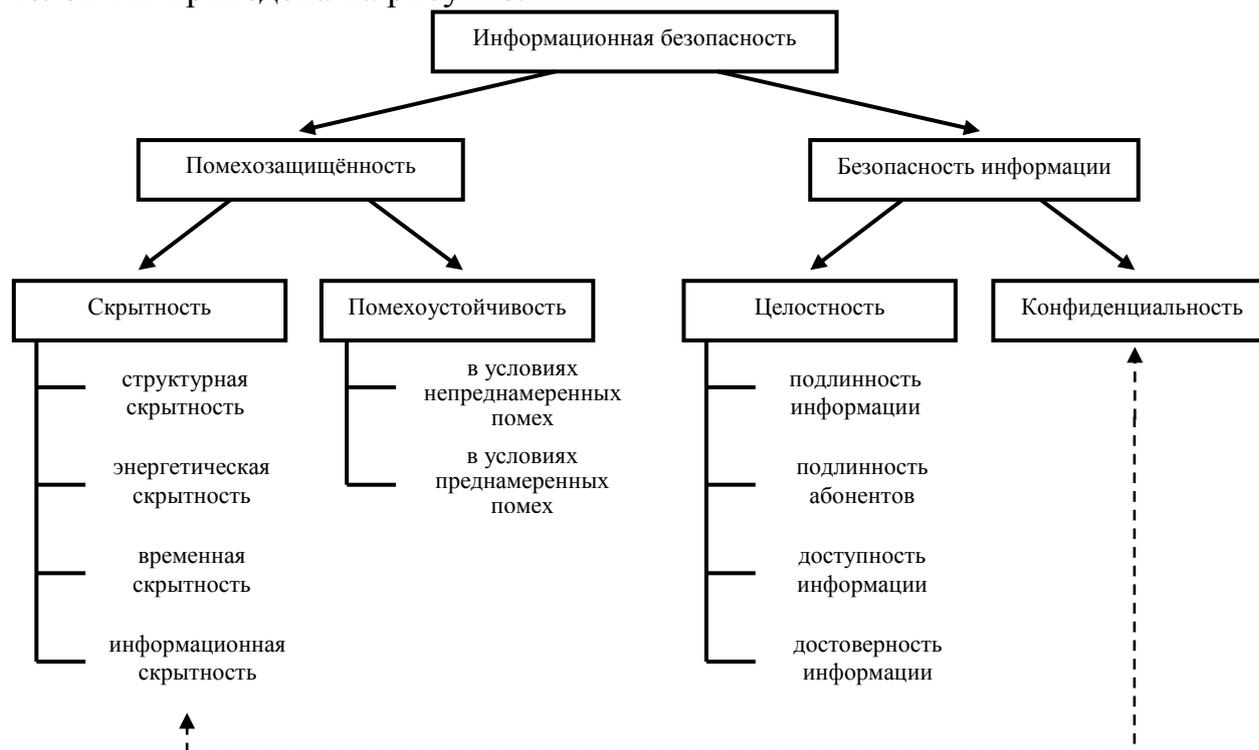


Рис. Составляющие информационной безопасности

При испытании и штатной эксплуатации сложных автоматизированных информационно-управляющих систем военного и двойного назначения нередки случаи возникновения угроз ИБ. Максимальный вред несут внешние угрозы ИБ, которые реализуются в рамках противоправных действий злоумышленников. При этом самыми уязвимыми показателями ИБ, на которые чаще всего воздействуют злоумышленники, является конфиденциальность и информационная скрытность. Последствия такого рода угроз могут привести к утечке, утрате, подмене и искажению информации.

Как отмечалось ранее, особый интерес при реализации угроз ИБ для злоумышленников представляют процессы управления и информационного обмена в КК. Овладев информацией, циркулирующей по радиоканалу «борт-земля» в процессе сеанса управления с КА, правонарушители будут способны получить охраняемые сведения о тактико-технических характеристиках КА и использовать их для реализации новых, возможно более глобальных угроз. Исходя из этого, для эффективного решения информационно-управляющей системой своих целевых задач, необходимо обеспечивать требуемый уровень конфиденциальности и информационной скрытности передаваемых сообщений.

В сложных автоматизированных информационно-управляющих системах, таких как КА, конфиденциальность информации обеспечивается комплексом административных мер, методом физической защиты информационных ресурсов и специальными техническими методами [6]. При этом основной костяк составляют технические методы, основанные на использовании

криптографических алгоритмов преобразования данных, которые представляют собой специальные методы шифрования информации.

В настоящее время при информационном обмене наземного комплекса управления с КА применяются, как правило, симметричные криптосистемы, в которых для шифрования и расшифрования информации используется один и тот же ключ, сохранение которого в тайне обеспечивает надёжность защиты. При этом, ключ заранее известен как передающей, так и приёмной стороне. Криптографическое преобразование информации в симметричных криптосистемах осуществляется по определённому алгоритму, описанному в государственном стандарте шифрования Российской Федерации ГОСТ 28147-89 «Алгоритм криптографического преобразования данных», на основе гаммирования – преобразования, заключающегося в генерации гаммы шифра и наложении полученной гаммы по определённому закону на открытые сообщения обратимым образом.

Данный подход к обеспечению требуемого уровня конфиденциальности и информационной скрытности позволяет максимально снизить вероятность подмены информации, а в случае её утраты или утечки – получения сведений об охраняемых характеристиках КА.

### **Заключение**

Исходя из результатов комплексного анализа проведения летных испытаний КА военного и двойного назначения, целесообразно сделать вывод о том, что для эффективного применения отечественной ОГ КА по целевому назначению необходимо увеличивать объём и качество различного рода испытаний.

В условиях информационного противоборства при испытании КА должны быть соблюдены требования, предъявляемых к обеспечению безопасности информации, циркулирующей в радиоканалах «борт-земля». Данная задача может быть достигнута лишь при учёте всех составляющих информационной безопасности.

### **Список литературы**

1. Корниенко А.А., Мальцев Г.Н., Штанько С.В. Информационная безопасность управления КА: учебное пособие. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2007. 200 с.
2. Лоскутов А.И. Методы совершенствования информационно-телеметрического обеспечения изделий ракетно-космической техники в рамках соответствия требованиям по защите телеметрической информации / А.И. Лоскутов, М.Л. Белокопытов, А.Ю. Ращупкин, В.В. Псарёв // Сборник трудов ВКА имени А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, выпуск №2 (651). 2016. С. 77-84.
3. Подготовка к испытаниям, испытания и летная эксплуатация КА навигации и геодезического обеспечения: отчет по ОИР Е 1404-2/ ГИКЦ; рук. В.М. Фастовец; исполн.: Е.В. Зотьев, В.А.Карцев, М.Н. Сигаев, С.К. Дубов, А.Л. Винчук. М. 2015. 77 с.
4. Подготовка к испытаниям, летные испытания, летная эксплуатация КА фото- и оптикоэлектронной разведки, радиотехнической разведки: отчет по ОИР Е 1401-1/ ГИКЦ; рук. Н.Н. Шкурко; отв. исполн. Д.Л. Степанов. М. 2015. 23 с.
5. Положение о порядке создания, производства и эксплуатации (применения) космических комплексов (Положение РК-98); Утверждено постановлением Правительства РФ от 22 июля 1998 г. № 819-31, 93 с.

6. Иванов К.С., Белокопытов М.Л., Клыков В.А. Проблемные вопросы информационно-телеметрического обеспечения изделий ракетно-космической техники, функционирующих в закрытых режимах // Сборник научных трудов ГИКЦ им. Г.С. Титова. Краснознаменск: ГИКЦ им. Г.С. Титова, выпуск № 42, «Системы контроля, испытаний и управления космическими средствами». 2016. С. 86-95.

7. ГОСТ Р 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. М.: Стандартиформ. 2011. 30 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРЫВА ФАЗНЫХ И НУЛЕВЫХ ПРОВОДОВ НА УРОВНИ ИСКАЖЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПО НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СЕТИ 380 В**

*Бочаров Д.С., Молчанов А.А.*

студенты, Московский энергетический институт, Россия, г. Москва

*Фахриева С.А.*

научный руководитель, ст. преподаватель, к.т.н.,  
Московский энергетический институт, Россия, г. Москва

Инструментальный контроль показателей качества электрической энергии (ПКЭ) в сетях 380 В показал, что несимметрия напряжений по нулевой последовательности и высшие гармоники напряжения кратные трём не соответствуют требованиям действующих нормативных документов, а именно ГОСТ 32144-2013. Также выявлены нарушения правил эксплуатации сетевого электрооборудования (ЭО): ненадлежащее состояние нулевых проводников на стороне низкого напряжения (НН) трансформаторных подстанций (ТП) 6-10/0,4, несвоевременное проведение текущего и капитального ремонта силовых выключателей и т.п. – параметры которого могут оказывать влияние на значения рассматриваемых ПКЭ. Номенклатура ЭО электрических сетей 380 В достаточно широка, поэтому возникает задача в определении тех элементов, которые вносят наибольший вклад в ухудшение КЭ.

*Ключевые слова:* нулевой провод, фазный провод, качество электрической энергии, низковольтная электрическая сеть.

Исследование распределения напряжений в разных точках электрической сети напряжением 380 В с глухо заземленной нейтралью при нормальных и возникновении несимметричных режимов работы проведено с использованием компьютерной модели, построенной на основе программного комплекса Matlab. Компьютерная модель электрической сети с применением системы TN-C включает в себя следующие элементы: энергосистему; силовой трансформатор напряжением 10/0,4 кВ; одиночную, радиальную, четырехпроводную воздушную линию с повторными заземлителями нулевого провода; электрическую нагрузку. Характерной особенностью схемы является модульность построения. Использование подобного модульного механизма представления распределительной электрической сети позволяет исследовать электрическую схему любой сложности.

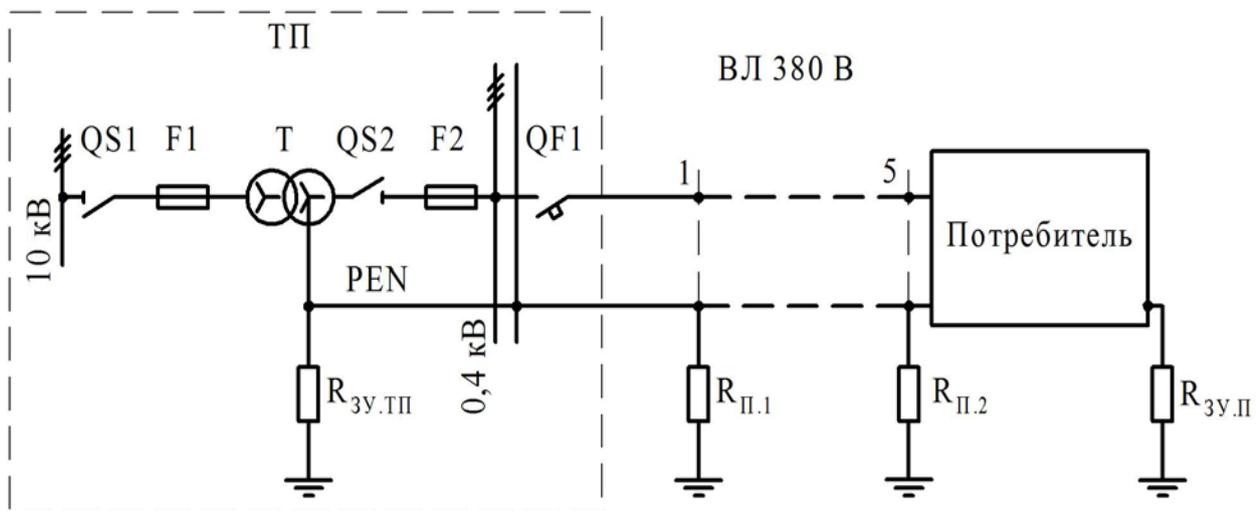


Рис. 1. Принципиальная схема электрической сети напряжением 380 В:  
 QS1, QS2 – разъединители; F1, F2 – плавкие предохранители; Т – силовой трансформатор напряжением 10/0,4 кВ; R<sub>ЗУ.ТП</sub>, R<sub>П.1</sub>, R<sub>П.2</sub>, R<sub>ЗУ.П</sub> – сопротивления соответственно заземляющего устройства ТП, повторных заземлителей нулевого PEN провода, заземляющего устройства потребителя

Были рассмотрены обрывы фазных и нулевого проводов в двух точках ВЛ: сразу после питающего трансформатора напряжением 10/0,4 кВ и перед потребителем. Диапазоны изменения напряжений электрической сети напряжением 380 В для предельных ее состояний представлены в таблице. Анализ логических признаков режимов работы электрической сети напряжением 380 В, полученных на основе данных таблицы, показывает:

1) при нормальном режиме работы электрической сети и изменении несимметрии нагрузок потребителя в диапазоне 0–100 % их расчетной мощности напряжения на фазах  $U_{\phi iN}$  меняются в пределах  $(0,79–1,12) U_{\phi}$ , напряжение несимметрии  $U_{нс} = (0–0,52) U_{\phi}$ ;

2) при обрыве фазного провода существенными признаками этого несимметричного режима являются отсутствие напряжения на проводе поврежденной фазы со стороны потребителя  $U_{\phi пN} = 0$  и повышение напряжения несимметрии до величины  $U_{нс} = (0,7–1,04) U_{\phi}$ ;

3) при обрыве нулевого провода и предельной несимметрии нагрузок напряжение несимметрии может достигать значений  $U_{нс} = (1,24–3) U_{\phi}$ , а напряжения на фазах находиться в пределах  $U_{\phi iN} = (0–1,732) U_{\phi}$ .

Таким образом, видна взаимосвязь контролируемых параметров и характерных режимов работы электрической сети.

Таблица

Диапазоны изменения напряжений электрической сети напряжением 380 В

Режим	R <sub>ЗУ.П</sub> , Ом	В месте возникновения несимметрии со стороны потребителя				
		U <sub>AN</sub> , В	U <sub>BN</sub> , В	U <sub>CN</sub> , В	U <sub>0</sub> , В	K <sub>0U</sub> , %
1	2	3	4	5	6	7
Нормальный	1	260,1	190,3	209,3	35,4	8,7
	∞	260,7	190	209,3	36	8,9
	1	261,3	237,5	185,2	39,8	9,8
	∞	261,9	237,7	184,6	40,6	10,0

1	2	3	4	5	6	7
Обрыв провода фазы А	1	0	190,3	209,3	54,9	13,6
	$\infty$	0	190	209,3	54,6	13,5
	1	0	237,5	185,2	56,3	13,9
	$\infty$	0	237,7	184,6	56	13,8
Обрыв провода фазы В	1	261,3	0	185,2	81,1	20,0
	$\infty$	261,9	0	184,6	81,2	20,1
	1	261,3	0	185,2	81,1	20,0
	$\infty$	261,9	0	184,6	81,2	20,1
Обрыв провода фазы С	1	237,5	185,2	0	56,3	13,9
	$\infty$	237,7	184,6	0	56	13,8
	1	233,7	233,7	0	77,9	19,2
	$\infty$	233,7	233,7	0	77,9	19,2
Обрыв нулевого провода	1	328,7	183,8	182,9	96,5	23,8
	$\infty$	350,6	182,3	182,3	116,9	28,9
	1	342,2	343,8	66,4	162,5	40,1
	$\infty$	404,8*	404,8*	0*	233,7	57,7

При анализе изменений напряжений учитывалось влияние следующих факторов:

1) изменение сопротивления нагрузки  $Z_{\text{нагр.}} = R_{\text{нагр.}}$  в одной фазе или в двух фазах одновременно в диапазоне 0–100 % их расчетной мощности;

2) изменение сопротивления заземляющего устройства  $R_{\text{з.п.}}$ , установленного в нейтрали трехфазной нагрузки потребителя в диапазоне от 1 Ом до  $\infty$ .

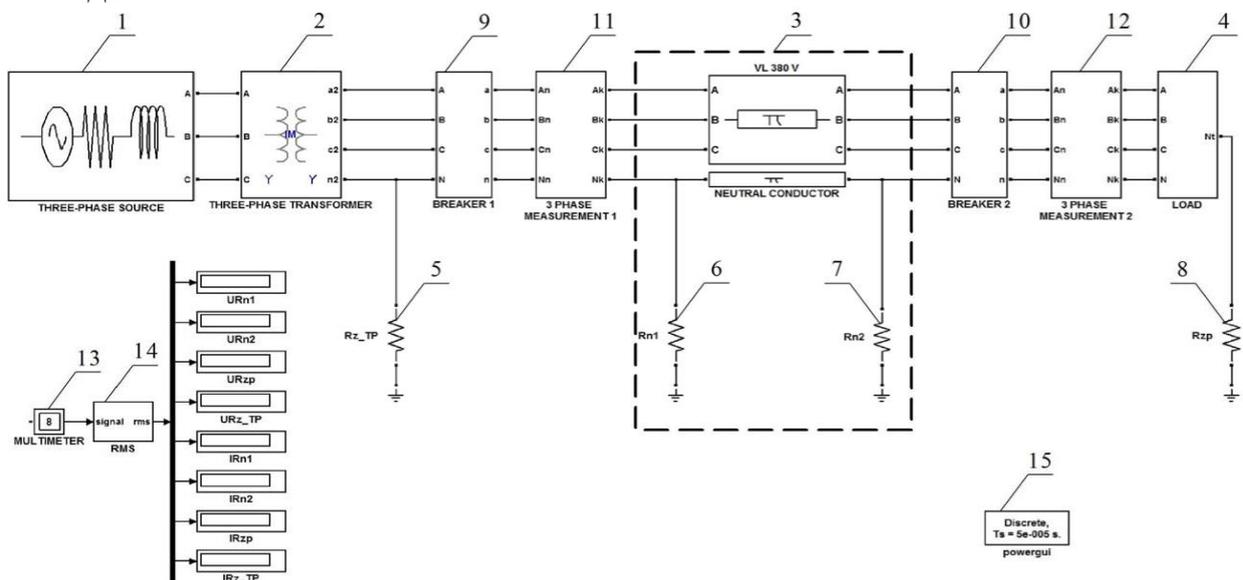


Рис. 2. Общий вид компьютерной модели электрической сети, выполненной в пакете Simulink: 1 – трехфазный источник напряжения 6–10 кВ; 2 – двухобмоточный трансформатор; 3 – модель четырехпроводной воздушной линии 380 В; 4 – электрическая нагрузка; 5, 6, 7, 8 – сопротивления соответственно заземляющего устройства ТП, повторных заземлителей нулевого провода и заземляющего устройства потребителя; 9, 10 – блоки коммутационных аппаратов в начале и в конце воздушной линии; 11, 12 – измерительные комплексы; 13 – блок "Мультиметр"; 14 – блок, рассчитывающий действующее значение синусоидального сигнала

### Список литературы

1. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. и др. Управление качеством Электрической энергии: учебное пособие для вузов // под ред. Ю. В. Шарова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Шидловский А.Л., Жаркин А.Ф. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях. Киев: Наукова думка, 2005.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014.

## РАСЧЕТ ОБОБЩЕННЫХ СИЛ ПРИ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗМУЩЕНИИ ОТ НЕРОВНОСТЕЙ ПОЛЯ

*Каныгин Г.И.*

профессор кафедры информационных технологии, канд. техн. наук, доцент,  
Донской государственной технической университет,  
Россия, г. Ростов-на-Дону

В статье рассматривается алгоритм определения обобщенных сил модели сельскохозяйственной машины от случайных кинематических воздействий, генерируемых неровностями рельефа поля. Расчет базируется на использовании матричных соотношений для преобразования перемещений и силовых факторов из одной системы координат в другую.

*Ключевые слова:* сельхозмашина, динамическая модель, обобщенные силы, связи системы, неровности рельефа поля, матрица преобразования.

Одной из самых трудоемких операций при исследовании процессов, происходящих в многомассовых динамических системах, является вывод их уравнений движения, который представляет наибольшую сложность для многомассовых систем с кинематическим возмущением, что характерно для мобильных сельскохозяйственных машин.

В работе [1] подробно излагается методика расчета матриц жесткости, инерции и демпфирования для сложной механической системы, которая позволяет создать алгоритм вывода уравнений движения при наличии лишь детерминированных воздействий. Беря эту методику за основу, в данной статье предлагаем алгоритм расчета правой части уравнения – обобщенных сил при кинематическом возмущении от неровностей поля, позволяющий решение такого класса задач полностью перенести на ЭВМ, начиная от составления уравнений и кончая их анализом.

В качестве примера рассмотрим одномассовую колебательную модель (рис. 1); жестко с телом свяжем правую систему координат  $O, X, Y, Z$ , а в каждой точке сосредоточения связи  $\alpha_i$  введем систему  $P_i, R_i, S_i$ . Здесь и в дальнейшем  $i$  – номер связи. Направление осей  $P_i, R_i, S_i$  выбираем с требованиями работы [1]. Ось  $S_i$  направляем внутрь тела по одной из главных осей жесткости. Оси  $P_i$  и  $R_i$  должны быть направлены по другим главным осям жесткости, образуя правую систему координат. На другом конце упругого элемента, в точке  $\beta_i$  введем левую систему координат  $P_{0i}, R_{0i}, S_{0i}$ . Оси этой

системы имеют противоположное направление по отношению к осям  $P_i, R_i, S_i$ .

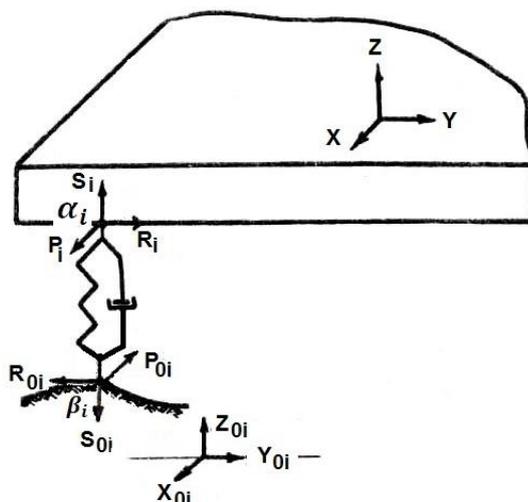


Рис. 1. Одномассовая динамическая модель

Для случая, когда колеса машины являются абсолютно жесткими, а связи их с рамой обладают упруго-диссипативными свойствами, начало координат системы  $P_{0i}, R_{0i}, S_{0i}$  можно совместить с точкой сосредоточения связи на оси колеса (рис. 2).

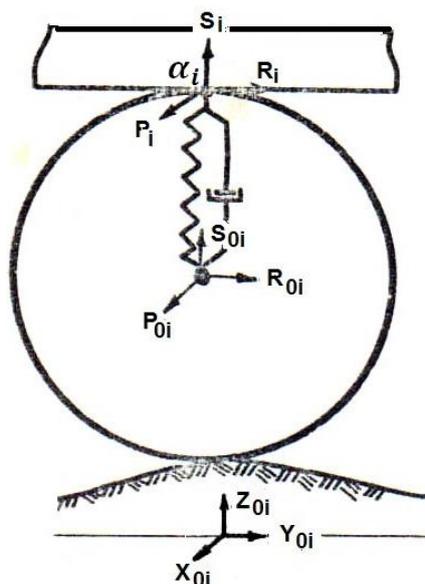


Рис. 2. Динамическая модель с абсолютно жестким колесом

Если при исследовании учитывается масса колес, обладающих упруго-диссипативными свойствами, оси координат должны быть введены в каждой точке сосредоточения связи (рис. 3).

Поступательные упруго-диссипативные свойства  $i$ -й связи зададим в системе  $P_i, R_i, S_i$  матрицами  $[K_p]_i$  и  $[C_p]_i$ . В точке контакта  $i$ -й связи с «землей» вводим систему координат  $X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}$ , при этом ось  $Z_{0i}$  направляем вверх по естественной нормали. Оси  $X_{0i}, Y_{0i}$  ориентируем произвольно, стараясь получить лишь правую систему координат.

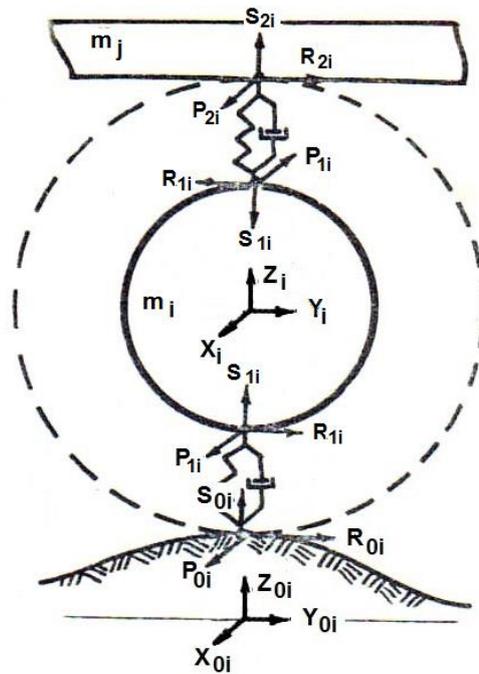


Рис. 3. Динамическая модель с колесом, обладающим упруго-диссипативными свойствами

Зададим в этой системе координат высоту неровностей рельефа поля вектором

$$\{h\}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ z_{0i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} z_{0i} = \{E\}z_{0i}. \quad (1)$$

В системе координат  $P_{0i}, R_{0i}, S_{0i}$  этот же вектор описывается вектором-столбцом

$$\{h_p\}_i = [A_0]_i \{h\}_i, \quad (2)$$

где  $[A_0]_i$  – матрица направляющих косинусов между положительными направлениями осей  $X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}$  и  $P_{0i}, R_{0i}, S_{0i}$ .

Упругие усилия  $\{F_{pk}\}$  и усилия сопротивления  $\{F_{pc}\}$  определяются из соотношений:

$$\{F_{pk}\}_i = [K_p]_i \{h_p\}_i; \quad \{F_{pc}\}_i = [C_p]_i \{\dot{h}_p\}_i. \quad (3)$$

Здесь  $\{h_p\}_i$  – вектор-столбец перемещений точки  $\beta_i$  в проекциях на оси  $P_{0i}, R_{0i}, S_{0i}$ ;

$\{\dot{h}_p\}_i$  – вектор-столбец скорости перемещений точки  $\beta_i$  в проекциях на оси  $P_{0i}, R_{0i}, S_{0i}$ .

Учитывая, что матрица полного преобразования сил из координатной системы  $X, Y, Z$  в координатную систему  $P_i, R_i, S_i$  имеет вид [1]

$$[T]_i = \begin{bmatrix} A & 0 \\ RA & A \end{bmatrix}_i,$$

где  $[A]_i$  – матрица направляющих косинусов между положительными направлениями осей  $X, Y, Z$  и  $P_i, R_i, S_i$ ;

$[R]_i$  – матрица радиуса вектора точки  $\alpha_i$  в системе  $X, Y, Z$ , получим

$$\begin{bmatrix} F_{xk} \\ Q_{xk} \end{bmatrix} = [T]'_i \begin{bmatrix} F_{pk} \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} F_{xc} \\ Q_{xc} \end{bmatrix} = [T]'_i \begin{bmatrix} F_{pc} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Здесь  $\{F_{xk}\}, \{F_{xc}\}$  – вектор обобщенных упругих и диссипативных сил в направлении осей  $X, Y, Z$ ;

$\{Q_{xk}\}, \{Q_{xc}\}$  – вектор упругих и диссипативных моментов относительно осей  $X, Y, Z$ ;

$[T]'_i$  – транспонированная матрица полного преобразования.

Подставив (1), (2) и (3) в выражения (4), получим обобщенное усилие от кинематических воздействий на  $i$ -й элемент связи в основной системе координат  $X, Y, Z$

$$\begin{bmatrix} F_{xk} \\ Q_{xk} \end{bmatrix} = [T]'_i \begin{bmatrix} K_p A_0 E \\ 0 \end{bmatrix} z_{0i}; \quad \begin{bmatrix} F_{xc} \\ Q_{xc} \end{bmatrix} = [T]'_i \begin{bmatrix} C_p A_0 E \\ 0 \end{bmatrix} z_{0i}. \quad (5)$$

Искомое суммарное обобщенное усилие от всей совокупности случайных кинематических воздействий определится из соотношения

$$\begin{bmatrix} F_x \\ Q_x \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n \left( [T]'_i \begin{bmatrix} K_p A_0 E \\ 0 \end{bmatrix} z_{0i} + [T]'_i \begin{bmatrix} C_p A_0 E \\ 0 \end{bmatrix} z_{0i} \right),$$

где  $n$  – число колес машины, обладающих упруго-диссипативными свойствами.

Данный алгоритм был использован для разработки программы на ЭВМ. Одновременно с расчетом обобщенных сил производится расчет матриц жесткости, инерции и демпфирования, а так же частотных характеристик системы.

#### Список литературы

1. Банах Л.Я., Перминов М.Д., Петров В.Д., Синев В.Д. Динамика сложной механической системы типа пространственной рамы. Методы расчета матриц жесткости, инерции и демпфирования для сложных пространственных систем. – В кн. Виброизоляция машин и виброзащита человека-оператора. – М.: Наука, 1073. С. 59-81.

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТЕМАТИКА» В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Капинос Ю.А.**

магистрант по направлению подготовки «Прикладная информатика»,  
Московский городской педагогический университет, Россия, г. Москва

**Ромашкова О.Н.**

заведующий кафедрой прикладной информатики, д-р тех. наук, профессор,  
Московский городской педагогический университет, Россия, г. Москва

Статья посвящена анализу текущего уровня автоматизации поддержки учебного процесса по математике в общеобразовательной организации. В статье представлена модель деятельности по поддержке учебного процесса по математике, которая выполнена с помощью инструментального средства СА ERWin Process Modeler. Также приведены ос-

новые функции информационной системы для поддержки учебного процесса по математике, которые позволила выявить разработанная модель.

*Ключевые слова:* общеобразовательная организация, математика, образовательная информационная система, IDEF0, CA ERWin Process Modeler, бизнес-процессы, проектирование, разработка.

Переход к информационному обществу связан с формированием новых моделей образования, предполагающих активное использование средств ИКТ. Кроме этого, информационные системы и технологии эффективно используются для мониторинга качества образовательного процесса.

Целью информатизации образования является переход обучения на новый уровень, который бы соответствовал уровню информационного общества в настоящее время.

Образовательная информационная система – это система, которая включает в себя программное обеспечение, оборудование, а также персонал, который контролирует процесс обучения [1,2,3].

На первом этапе создания информационной системы был проведен аналитический обзор информационных систем, автоматизирующих поддержку учебного процесса по математике, которые в настоящий момент используются в общеобразовательных организациях (таблица).

Таблица

**Аналитический обзор информационных систем**

	«КМ-Школа»	«1С:Образование 5 Школа»	NetSchool	«АВЕРС»
Стоимость	от 48600 р.	от 14500 р.	от 32000 р.	от 30000 р.
Техническая поддержка	Бесплатная	Бесплатная	Бесплатная	Бесплатная
Обучение	Бесплатное	Бесплатное	Платное	Бесплатное
Обновления	Бесплатное	Бесплатное	Бесплатное	Платное
Интерфейс	+	+	-	+
Дистанционное обучение	+	-	+	+
Электронная библиотека	+	+	+	+

Также на данном этапе разработана модель деятельности по поддержке учебного процесса по математике, которая выполнена с помощью инструментального средства CA ERWin Process Modeler. CA ERWin Process Modeler – CASE-средство, предназначенное для автоматизированной разработки моделей функционирования (бизнес-процессов) информационных систем различного назначения.

Для создания модели бизнес-процессов использовался стандарт IDEF0, на рисунке 1 представлена диаграмма верхнего уровня для деятельности по поддержке учебного процесса по математике в общеобразовательной организации.

Входные дуги: Учебный план, Расписание занятий, План урока, Учебно-методические материалы по математике.

Выходная дуга – отчетная документация.

Дуги управления: Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОСы), Приказы Департамента образования города Москвы (ДОгМ), Устав общеобразовательной организации (ОО), Внутренние распорядительные документы.

Дуги механизмов: Преподаватель, Обучающиеся, Родители.



Рис. 1. Контекстная диаграмма верхнего уровня

После создания контекстной диаграммы верхнего уровня, блок «Деятельность по поддержке учебного процесса по математике в общеобразовательной организации» делится еще на четыре блока: Провести урок, Выполнить домашнее задание, Провести контроль уровня знаний, Работать с электронным журналом. Разделение блока контекстной диаграммы верхнего уровня на эти четыре блока называется функциональной декомпозицией. На рисунке 2 представлена диаграмма декомпозиции «Деятельность по поддержке учебного процесса по математике в общеобразовательной организации».

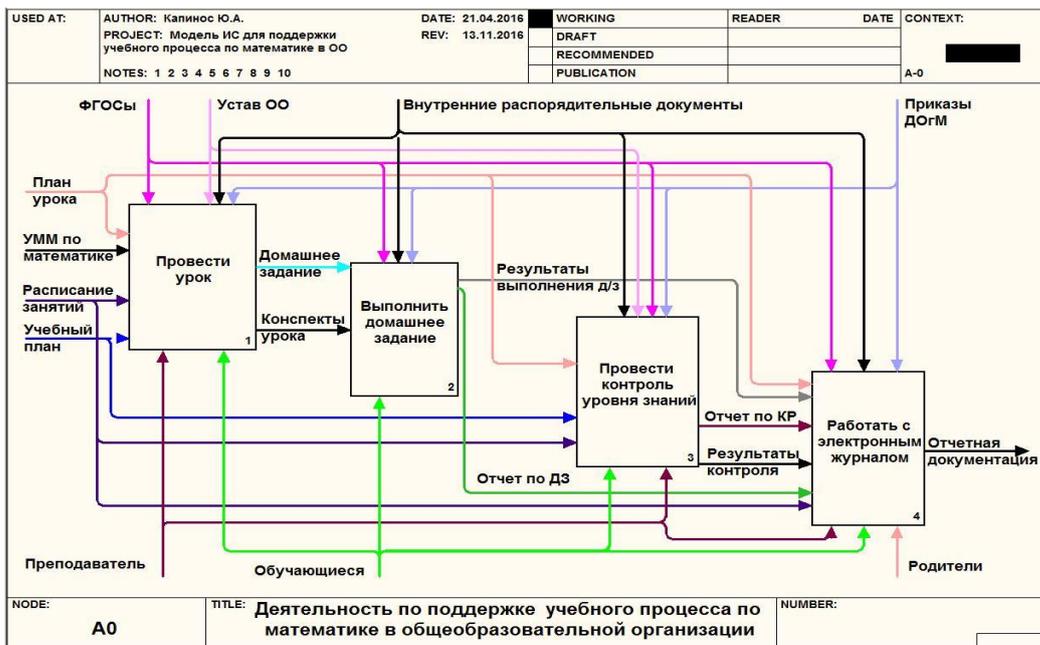


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции «Деятельность по поддержке учебного процесса по математике в общеобразовательной организации»

Далее каждый блок диаграммы декомпозиции детализируется, в результате детализации блока «Провести урок» получаются блоки: Изложить новый материал, Ответить на вопросы, Решить с учениками примеры, Подвести итоги урока и выдать домашнее задание, диаграмма представлена на рисунке 3.

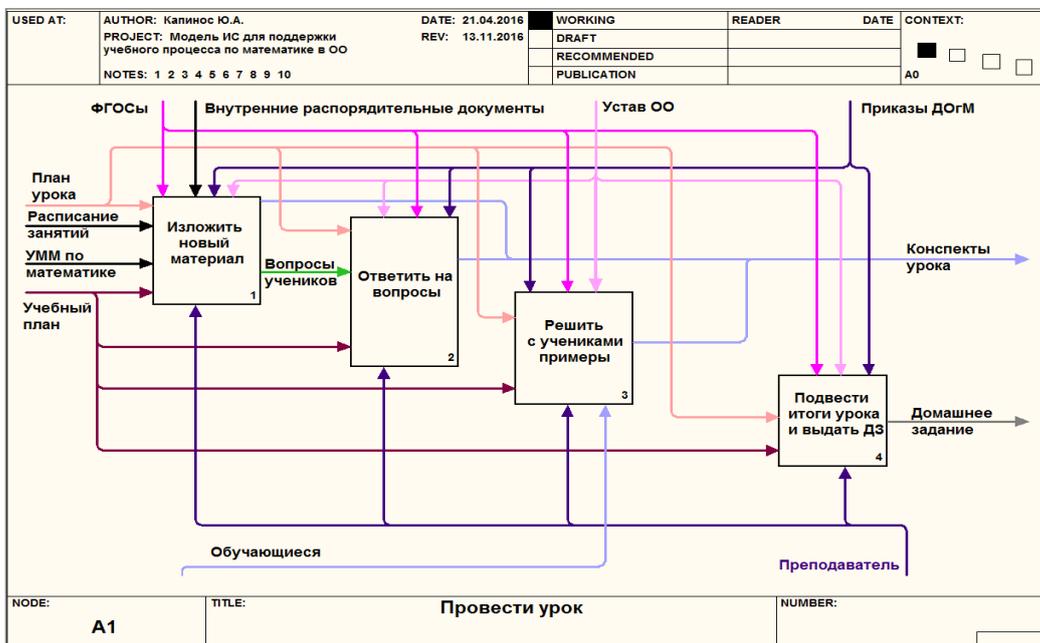


Рис. 3. Диаграмма декомпозиции блока «Провести урок»

В результате детализации блока «Выполнить домашнее задание» получаются блоки: Решить домашнее задание, Проверить ответы на задание, Сделать работу над ошибками. В результате детализации блока «Провести контроль уровня знаний» получаются три блока: Ввести данные в электронный журнал, Сформировать отчетную документацию, Ознакомиться с ведомостями.

При помощи CASE-средства ERwin Data Modeler было выполнено моделирование бизнес-процессов «как есть» в нотации IDEF0, а «как будет» в нотации BPMN, которое выполнено в инструментальном средстве Bizagi Modeler.

Прежде чем строить бизнес-процессы «как будет», необходимо было сделать схему вариантов использования информационной системы.

В результате построения этой схемы различные функции распределены между пользователями системы:

- классный руководитель ведет базу данных и формирует отчетную документацию;
- преподаватель математики проводит контроль уровня знаний, вводит данные в электронный журнал и формирует отчетную документацию;
- обучающийся выполняет домашнее задания и участвует в процессе проверки контроля уровня знаний;
- директор и родители, также как и преподаватель, и классный руководитель могут сформировать отчетную документацию.

В качестве примера схемы взаимодействия для бизнес-процесса на рисунке 4 представлена схема «Выполнить домашнее задание», исполнители в данном бизнес-процессе: Преподаватель, Обучающийся, Информационная система. Преподаватель дает домашнее задание ученику, который решает домашнее задание и вводит ответы в систему. Далее информационная система проверяет ответы на домашнее задание, если есть ошибки, то система выдает пояснения о допущенных ошибках, и ученик делает работу над ошибками. В итоге результаты выполнения домашнего задания сохраняются в хранилище данных.

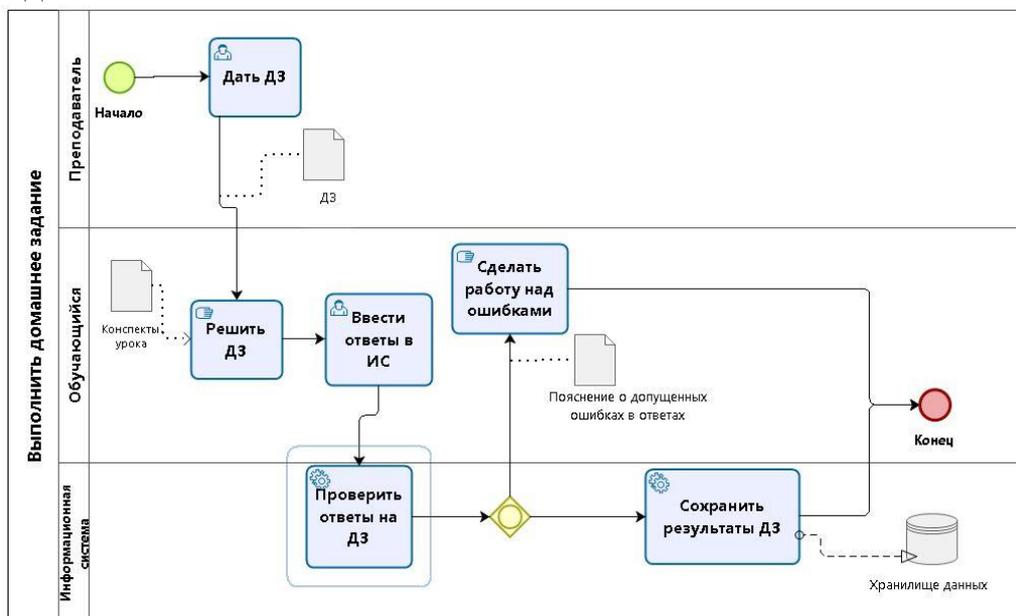


Рис. 4. Схема взаимодействия для бизнес-процесса «Выполнить домашнее задание»

В результате анализа предметной области и моделирования бизнес-процессов «как есть» и «как будет» были выявлены такие функции информационной системы как:

- автоматизировать выполнение домашнего задания и проведение контроля уровня знаний учеников;
- автоматизировать ведение баз данных обучающихся, педагогов и родителей;
- обеспечить хранение информации о результатах выполнения домашних и контрольных работ;
- автоматизировать формирование отчетной документации.

В результате информационная система для поддержки учебного процесса по математике в общеобразовательной организации позволит контролировать уровень подготовки обучающихся на каждом этапе обучения, а именно: работа в классе, выполнение домашнего задания, выполнение контрольной работы. А по результатам контроля формируется отчетная документация, которую могут использовать не только педагоги, но и сами обучающиеся, и их родители.

#### **Список литературы**

1. Ермакова Т.Н., Ромашкова О.Н. Мониторинг качества образования в средней общеобразовательной организации с использованием современных средств информатизации // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2014. – № 4. – С. 10-17.
2. Ермакова Т.Н., Ромашкова О.Н. Методика выбора информационной модели для оценки показателей качества обучения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2015. – № 2. – С. 14-20.
3. Ромашкова О.Н., Моргунов А.И. Информационная система для оценки результатов деятельности общеобразовательных организаций г. Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2015 – № 3 – С. 88-95.

### **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ПРОГРАММНОГО БАЛАНСИРОВЩИКА TiCLOUDBALANCER В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ ФИНАНСОВОЙ СФЕРЫ**

*Клепиков А.К.*

ст. преподаватель кафедры информатики и информационных технологий,  
канд. техн. наук, Тульский государственный педагогический  
университет им. Л.Н. Толстого, Россия, г. Тула

В статье описываются требования к вычислительным сетям в которых требуется внедрение программного балансировщика вычислительной нагрузки. Указанные требования справедливы как для малых локальных сетей, так и для распределенных вычислительных сетей предприятия, в том числе гибридных или конвергентных.

*Ключевые слова:* вычислительная сеть, балансировка нагрузки, распределение вычислительных задач, TiCloudBalancer.

При возникновении необходимости внедрения программного распределителя TiCloudBalancer в вычислительную сеть (ВС) рекомендуется руко-

водствоваться положениями, изложенными ниже, что позволит минимизировать возможные ошибки в работе внедряемого ПО, время простоя ВС, время затраченное на общий процесс внедрения продукта [1, с. 190].

Процесс внедрения состоит из 14 этапов.

**1-й этап.** Необходимо ознакомиться с системными требованиями к сети предприятия, для TiCloudBalancer таковыми являются условия:

- наличие доменной политики Windows;
- все ЭВМ должны функционировать под управлением ОС Windows версий: XP, 7, 8, 8.1;

**2-й этап.** При условии, что вычислительная сеть удовлетворяет требованиям монитора-распределителя необходимо подготовить данные для конфигурационных файлов монитора-распределителя, для этого необходимо:

- получить список всех автоматизированных рабочих мест (АРМ) пользователей с ip адресами, на которые будут установлены клиентские модули ПО;

- получить список всех вычислительных серверов с ip адресами, на которые будут установлены серверные модули ПО.

**3-й этап.** Необходимо выбрать оптимальное время для интеграции продукта в вычислительную сеть, в качестве которого могут быть выбраны поздние вечерние часы, праздничные и выходные дни, т.е. время в которое сеть имеет минимальные нагрузки со стороны АРМ пользователей.

**4-й этап.** Производится установка главного модуля на шлюзовую компьютер вычислительной сети.

**5-й этап.** Производится установка серверных модулей на серверы вычислительной сети предприятия.

**6-й этап.** Производится установка серверных модулей на виртуальные облачные вычислительные серверы, если таковые имеются.

**7-й этап.** Производится установка клиентских модулей на АРМ пользователей.

**8-й этап.** Производится добавление в политику межсетевых экранов и систем контроля вторжения исключений для передачи данных по сети с использованием порта 5747.

**9-й этап.** Производится активация монитора-распределителя путем запуска через диспетчер служб Windows служб: Cloud Balancer ARM Module; Cloud Balancer Server Module; Cloud Balancer Gate Module.

**10-й этап.** Запуск главного модуля на шлюзовом компьютере сети. Все операции по запуску и настройке можно выполнять как с прямого подключения к серверу, так с помощью КВМ либо используя технологию удаленного рабочего стола.

**11-й этап.** Синхронизация модулей, для чего происходит запись ip адресов вычислительных серверов в конфигурационный файл шлюзового модуля.

**12-й этап.** Запуск процесса обучения системы и выбор АРМ, с которого будет происходить генерация всех тестовых вычислительных заявок. В результате чего главный модуль сформирует хранилища данных с параметрами

вычислительных серверов, параметрами вычислительных задач для выполнения, таблицы теоретических времен исполнения вычислительных задач, корректировочные таблицы времен исполнения вычислительных задач.

**13-й этап.** Проведение проверки корректности работы распределителя, для чего анализируются конфигурационные файлы `app_config.xml`, `net_config.xml`, `main_config.xml` на предмет присутствия всех необходимых IP адресов серверов и АРМ вычислительной сети предприятия.

**14-й этап.** Производится ручная проверка времени выполнения вычислительной задачи, для чего выполняется остановка службы на клиентском АРМ и происходит формирование вычислительной задачи. Проверяется возвращаемый результат  $Q_1$ . Снова запускается клиентская служба и проверяется полученный с использованием монитора распределителя результат  $Q_2$ . Если  $Q_1$  равно  $Q_2$ , то данный эксперимент доказывает сходство полученных данных с использованием монитора-распределителя данных и без него. В случае когда  $Q_1$  не равно  $Q_2$ , рекомендуется вернуться к первому этапу настоящей рекомендации по внедрению монитора-распределителя в КВС и последовательно проверить корректность выполнения каждого этапа процесса интеграции [2, с. 153].

#### Список литературы

1. Клепиков, А.К. Автоматическая балансировка нагрузки в гибридных вычислительных сетях / А.К. Клепиков, А.Н. Привалов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. С. 188-193.
2. Клепиков, А.К. Модель распределения ресурсов при "облачных вычислениях" / А.К. Клепиков, А.Н. Привалов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. С. 151-157.

## ГИДРОИСПЫТАНИЯ СТАЛЬНЫХ ТРУБ

**Королев Н.Я.**

кандидат технических наук, доцент,

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

Получен аналитический метод расчета критического давления стальных толстостенных труб при гидроиспытаниях.

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

**Напряжения и деформации в стенке трубы при внутреннем давлении.** Рассмотрим длинную толстостенную трубу под действием внутреннего давления  $p_a$  (рисунок), стенка которой находится в состоянии однородного растяжения [1–97].

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]

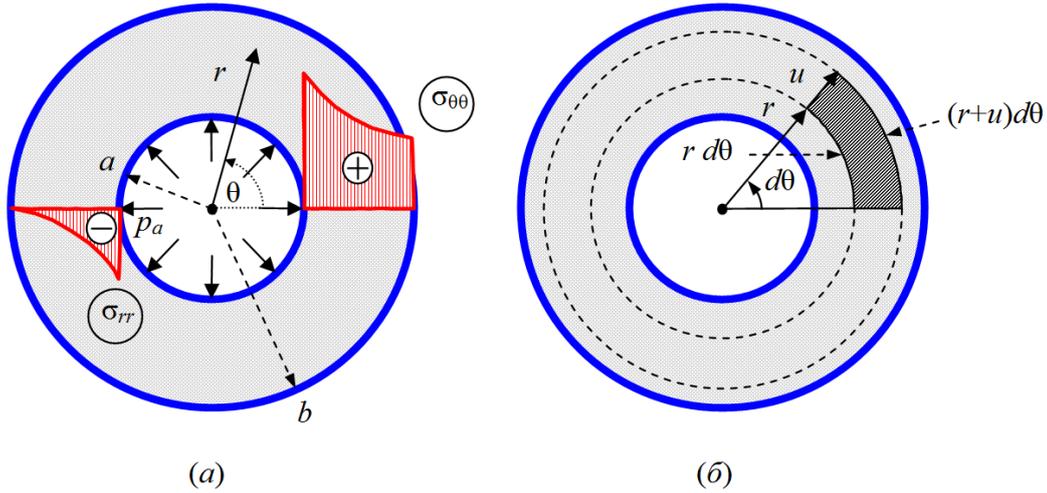


Рис. Эпюры радиальных и тангенциальных нормальных напряжений в стенке трубы (а) и радиальные перемещения точек  $u$  внутри трубы (б)

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

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

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

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

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

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

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

Для «бесконечно» длинной трубы  $\sigma_z = 0$ . Для длинной трубы с «доньшками» (длина трубы  $l \gg b$ )

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

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.

Для длинной трубы с «донышками» (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,  $\sigma_T$  – предел текучести материала трубы.

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

$$(\sigma_{\theta\theta}(a) - \sigma_{rr}(a))^2 + (\sigma_{\theta\theta}(a) - \sigma_z(a))^2 + (\sigma_{rr}(a) - \sigma_z(a))^2 \geq 2\sigma_T^2,$$

$$\left(\frac{2p_a b^2}{b^2 - a^2}\right)^2 + \left(\frac{p_a b^2}{b^2 - a^2}\right)^2 + \left(\frac{p_a b^2}{b^2 - a^2}\right)^2 \geq 2\sigma_T^2, \quad \frac{p_a b^2}{b^2 - a^2} \geq \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_T,$$

$$p_a^{\text{IV,критич}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_T \frac{b^2 - a^2}{b^2} = \frac{4}{\sqrt{3}}\sigma_T \frac{h}{D} \left(1 - \frac{h}{D}\right) \approx 2,309 \sigma_T \frac{h}{D} \left(1 - \frac{h}{D}\right),$$

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

**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 упругопластическое равновесие трубы. При  $p_a \geq p_T$  равновесие трубы становится неустойчивым.

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%).

**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  $\sigma_B$ :

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

Предел пластического сопротивления 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, когда максимальные касательные напряжения на внутренней поверхности трубы достигают предела прочности материала 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. 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 «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямляющей машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном

- прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Уругоупластическое 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 листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой 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 двенадцатирولیковой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатирولیковой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.

64. Шинкин В.Н. Шестироликовая листопрямляющая 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 пресса 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.

## **РАСПРУЖИНИВАНИЕ СТАЛЬНОГО БРУСА**

***Королев Н.Я.***

кандидат технических наук, доцент,

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

Получен коэффициент пружинения бруса для упругопластической среды с линейным упрочнением в зависимости от ширины и толщины бруса, предела текучести, модуля Юнга и модуля упрочнения металла.

*Ключевые слова:* формовка стального бруса, коэффициент пружинения, упругопластический изгиб.

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

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

Пусть  $\rho$  – радиус кривизны продольной упругой линии изогнутого бруса и  $\rho/h \geq 5$ . В этом случае утонением стенки бруса можно пренебречь ( $h = \text{const}$ ). Пусть при изгибе справедлива гипотеза плоских сечений Бернулли – плоские поперечные сечения бруса до деформации остаются плоскими при деформации.

Тогда кривизна продольных волокон бруса  $\varepsilon = y/\rho$ , где  $y$  – расстояние от нейтральной плоскости бруса при его изгибе.

Максимальное относительное удлинение  $\varepsilon_{\max}$  имеет место на поверхности бруса и равно  $\varepsilon_{\max} = (h/2)/\rho = h/(2\rho)$ .

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

Поперечное сечение бруса делится на две зоны – упругую и пластическую. Величина  $y_T$ , определяющая границу этих зон, находится из выражения:  $y_T = \varepsilon_T \rho = \sigma_T \rho / E$ .

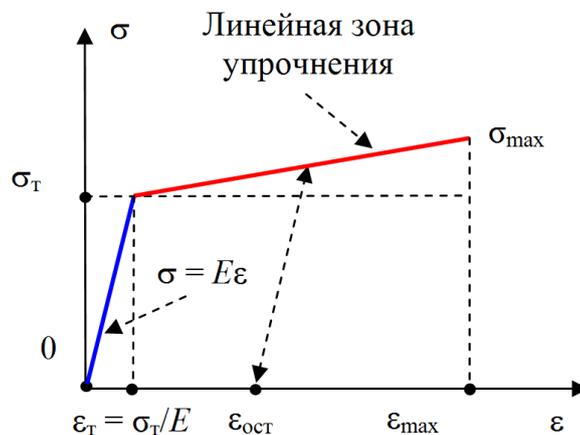


Рис. Упругопластическая среда с линейным упрочнением

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

$$M = \int_{-h/2}^{h/2} y \sigma(y) b dy = 2b \int_0^{h/2} y \sigma(y) dy = 2b \int_0^{y_T} y \sigma(y) dy + 2b \int_{y_T}^{h/2} y \sigma(y) dy =$$

$$\begin{aligned}
&= 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 - y_T^2}{4} \right) + \frac{2b \Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} \left( \frac{h^3 - y_T^3}{8} \right) = \\
&= 2b \frac{E}{\rho} \frac{y_T^3}{3} + b \sigma_T \left( \frac{h^2 - y_T^2}{4} \right) - \\
&\quad - \left\{ \frac{b \Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} y_T \right\} \left( \frac{h^2 - y_T^2}{4} \right) + \frac{2b \Pi(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_T)}{\frac{h}{2} - y_T} \left( \frac{h^3 - y_T^3}{8} \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 - y_T^2}{4} \right) + \frac{2b \Pi}{\rho} \left( \frac{h^3 - y_T^3}{8} \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}{3\rho} \left( \frac{h}{2} - \frac{\sigma_T \rho}{E} \right)^2 \left( h + \frac{\sigma_T \rho}{E} \right).
\end{aligned}$$

Если при растяжении и сжатии металл бруса имеет разные модули упругости, то

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

где  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – модули упругости металла бруса при растяжении и сжатии.

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

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

**Кривизна бруса.** При чисто упругих деформациях бруса, когда пластическая зона отсутствует, кривизна определяется по формулам [1, 3, 5, 6]:

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

Чисто упругие деформации бруса наблюдаются, если

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

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

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

где  $M$  – величина изгибающего момента при нагрузке.

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

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

$$\rho_{ост} = \beta \rho,$$

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

*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 листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироlikовой 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 пятнадцатироlikовой листопрямляющей 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 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. Шестироlikовый 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 семироlikовой 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 гос-

ударственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.

25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.

26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.

27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе

стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7-1. С. 74-78.

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

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

46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.

47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.

48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.

49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.

50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.

51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.

52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.

53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.

54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.

55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.

56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.

57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.

58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.

59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.

60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.

61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой 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 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. № 5-3 (5). С. 112-115.
69. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // 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 JSOE // 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 Agrasate // 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.

## **ТРЕХВАЛКОВАЯ ГИБОЧНАЯ МАШИНА**

***Королев Н.Я.***

кандидат технических наук, доцент,  
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

Предложен математический метод определения оптимальных технологических параметров гибки металлического листа на вальцах листогибочных трехвалковых. Результа-

ты исследований могут быть использованы на металлургических заводах при производстве металлических труб.

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

**Листогибочные машины.** 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 применяются для производства изделий цилиндрической, овальной и конической формы путем гибки листового металла. С помощью них изготавливают трубы, желоба, элементы воздухопроводов, 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.

**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. 1).

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

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

Введем две локальные прямоугольные декартовы системы координат  $u-z$  в точках касания листа с валками вальцов. Оси  $z$  направим по касательной к поверхности валков слева направо, а оси  $u$  – 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.

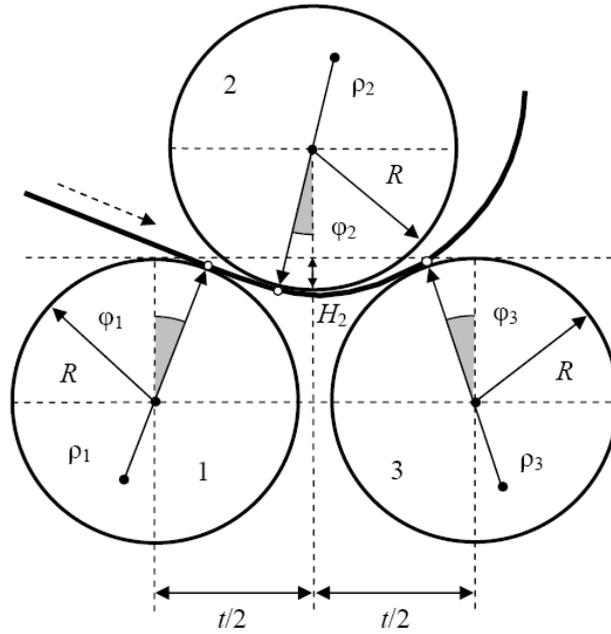


Рис. 1. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых

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. 2).

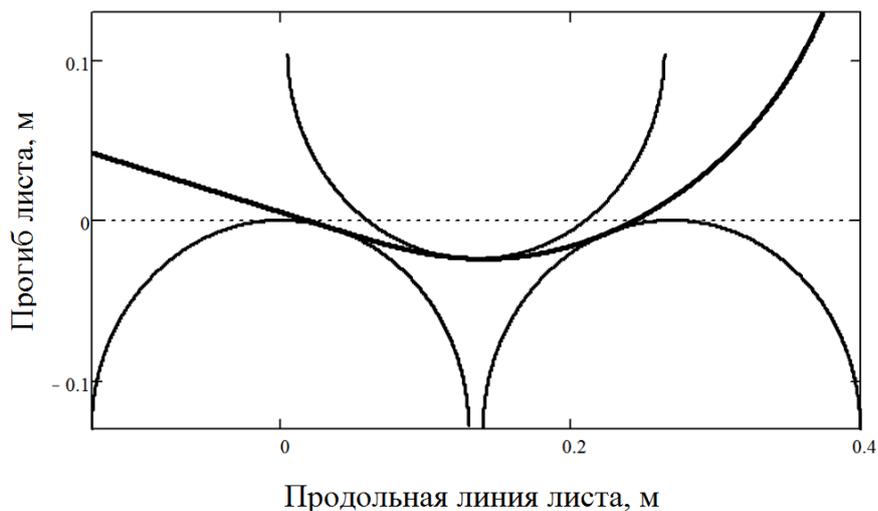


Рис. 2. Прогиб листа между вальцами листогибочных вальцов

**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]. Эти процессы широко используются современными 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 трубоформовочном 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 «доньшками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироlikовой листопривальной 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 гос-

ударственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.

25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.

26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.

27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе

стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7-1. С. 74-78.

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

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

46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.

47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.

48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.

49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.

50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.

51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.

52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.

53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.

54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.

55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.

56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.

57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.

58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.

59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.

60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.

61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой 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 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. № 5-3 (5). С. 112-115.
69. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // 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 Agrasate // 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 СТАЛЬНОГО ЛИСТА НА ТРУБНОМ ПРЕССЕ**

*Королев Н.Я.*

кандидат технических наук, доцент,  
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

Предложен метод расчета технологических параметров формовки полусогнутого стального листа на трубном прессе: максимального усилия пресса при формовке, размера

и формы контактной зоны пуансона и заготовки. Результаты исследований могут быть применены на металлургических заводах.

*Ключевые слова:* стальной лист, упругопластический изгиб, трубоформовочный пресс.

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

Рассмотрим изгиб полусогнутого стального листа, опирающегося на закругленные матрицы (бойки), под действием давления пуансона прессы (рис. 1–3).



Рис. 1. Формовка левой части заготовки на трубоформовочном прессе



Рис. 2. Формовка правой части заготовки на трубоформовочном прессе



Рис. 3. Формовка центральной части заготовки на трубоформовочном прессе

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

Пусть  $H$  – глубина прогиба (обжатие) заготовки при формовке;  $H_{\max}$  – максимально возможная глубина прогиба заготовки (до касания пуансона матриц);  $r_{\text{п}}$  и  $r_{\text{м}}$  радиусы пуансона и матрицы;  $\beta_1 r_{\text{п}}$  – радиус недеформируемой части цилиндрической заготовки ( $\beta_1 > 1$ );  $P_{\text{шф}}$  – усилие пуансона при формовке;  $R_1$  – реакция опоры заготовки и матрицы;  $\alpha$  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;  $\sigma_{\text{т}}$  – предел текучести;  $E$  – модуль Юнга;  $\Pi_{\text{р}}$  и  $\Pi_{\text{с}}$  – модули упрочнения при растяжении и сжатии;  $\rho = r_{\text{п}} + h/2$  – радиус кривизны нейтральной плоскости заготовки.

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

$$M(\rho) = \frac{bh^2\sigma_{\text{т}}}{12} \left( 3 - 4 \left( \frac{\sigma_{\text{т}}\rho}{Eh} \right)^2 \right) + \frac{bh^3(\Pi_{\text{р}} + \Pi_{\text{с}})}{24\rho} \left( 1 - 2 \frac{\sigma_{\text{т}}\rho}{Eh} \right)^2 \left( 1 + \frac{\sigma_{\text{т}}\rho}{Eh} \right).$$

Остаточный радиус кривизны пластины и коэффициент пружинения листа в области контакта с пуансоном определяются из уравнений [3, 5, 6]

$$\beta = \frac{\rho_0}{\rho}, \quad \rho_0 = \beta \rho,$$

$$\beta = \frac{\mu_2}{1 - \left[ \frac{3\rho\sigma_{\text{т}}}{hE} - \frac{4\rho^3\sigma_{\text{т}}^3}{h^3E^3} + \frac{\rho(\Pi_{\text{р}} + \Pi_{\text{с}})}{h^3E} \left( \frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_{\text{т}}}{E} \right) \left( h^2 - h\rho \frac{\sigma_{\text{т}}}{E} - 2\rho^2 \frac{\sigma_{\text{т}}^2}{E^2} \right) \right]},$$

$$\frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{\rho} - \frac{3\sigma_{\text{т}}}{hE} + \frac{4\rho^2\sigma_{\text{т}}^3}{h^3E^3} - \frac{(\Pi_{\text{р}} + \Pi_{\text{с}})}{h^3E} \left( \frac{h}{2\rho} - \frac{\sigma_{\text{т}}}{E} \right) \left( h^2 - h\rho \frac{\sigma_{\text{т}}}{E} - 2\rho^2 \frac{\sigma_{\text{т}}^2}{E^2} \right),$$

где  $\mu_2$  – постоянный безразмерный коэффициент, учитывающий скорость деформации оболочки.

Будем считать, что при формовке левая неконтактная поверхность заготовки между пуансоном и матрицами остается цилиндрической, а правая неконтактная поверхность заготовки – плоской.

Тогда

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

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

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

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

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

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

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

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

Усилие пуансона прессы при изгибе частично изогнутой стальной заготовки равно

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

*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. – 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 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 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 рисксой» // 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 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 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 пресса SMS Meer // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.

69. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // 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 Agrasate // 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 (50). Часть 3. 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 (50). Часть 3. 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.

## АДАПТИВНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ТИПОВ (КЛАССОВ) СОЦИОГРАММ ПРОФЕССИЙ

**Крупник В.Ш.**

доцент кафедры прикладной информатики, канд. техн. наук, доцент,  
Московский городской педагогический университет, Россия, г. Москва

**Остроблин В.И.**

магистрант 1-го года обучения кафедры прикладной информатики,  
Московский городской педагогический университет, Россия, г. Москва

В статье рассматривается адаптивное построение социограмм профессий на основе результатов тестирования респондентов с помощью различных методик тестирования. При появлении новых результатов тестирования должно происходить автоматическое обновление профилей профессий. Подробно рассмотрен тест на основе матрицы профессий, а также методика его проведения, интерпретации результатов и приведён пример реализации теста в электронном виде.

*Ключевые слова:* профориентация, информационные системы, социограммы.

Ставится задача построения информационной профориентационной системы с обратной связью. Приведены особенности реализации некоторых используемых тестов.

Профориентационные тесты условно можно разбить на три группы: определяющие специфику характера, определяющие склонности (предпочтения) тестируемого, выявляющие способности.

Примерами первых являются: профориентационная методика ВОЛ [1] (всестороннее обследование личности) – модифицированный на определение профессий вариант метода ММРІ (миннесотский многопрофильный личностный опросник), типология Майер Бригс, являющаяся вариантом Юнговской типологии [2], типология Личко, в модифицированном для нужд профориентации виде [3] и др. Профориентационные тесты характера определяют тип личности с описанием предпочтительной для этого типа *группой профессий*.

Представителями второй группы являются, например, карта интересов [4], матрица профессий [3], классификация типов профессий Климова [6] и др. В этих тестах, также как в тестах характера, определяется привязывание результатов тестируемого к определенному типу *с описанием группы профессий*.

Представителем третьей группы, в частности, является интеллектуально-структурный тест ИСТ-70 [1], разработанный немецким психологом Р. Амтауэром в 1953 г. и усовершенствованный в 1970 г. Измеряется девять интеллектуальных способностей (конкретное, логическое, аналитическое и синтетическое мышление, экстраполяция, вычисление, запоминание, ориентация в двух- и трехмерном пространстве). Для определения каждой способности тестируемый получает 20 задач. По количеству правильно решенных

задач строится *персональная социограмма*, которая сравнивается с *социограммами 50 профессий и профессиональных групп*.

Опыт работы с тестом Амтауэра, особенно в совокупности с тестом из другой группы, показывает, что для совмещения результатов приходится одновременно рассматривать группу, иногда, разнородных профессий. Это говорит о том, что работа с типами профессий является более предпочтительной, чем непосредственное сопоставление с конкретными социограммами.

Представляется, что построение типов (- классов) профессий для теста Амтауэра лучше проводить в сопоставлении с результатами теста характера. Если пытаться сравнивать разные типологии характера, то можно выделить типологии, построенные на альтернативных конструктах (например, в типологии Юнга противопоставление экстраверсии – интроверсии) и типологии, построенные на факторах (например, типология Личко). Следует заметить, что в типологиях, основанных на факторах, как правило, наблюдаются корреляции факторов [1]. Поэтому, для сопоставления выбран один из вариантов реализации классификация Юнга.

Отметим, что в настоящее время, стоит задача расширения базы социограмм, имеющих в тесте Амтауэра, в связи с появлениями новых профессий. При постоянном появлении новых профессий наличие типологии является более гибкой конструкцией. Указанное, делает задачу построения типов профессий для теста Амтауэра *актуальной*.

Решение указанной задачи планируется провести в рамках разрабатываемой информационной системы структурно состоящей из двух частей (рис.1): системы тестирования и аналитической части.

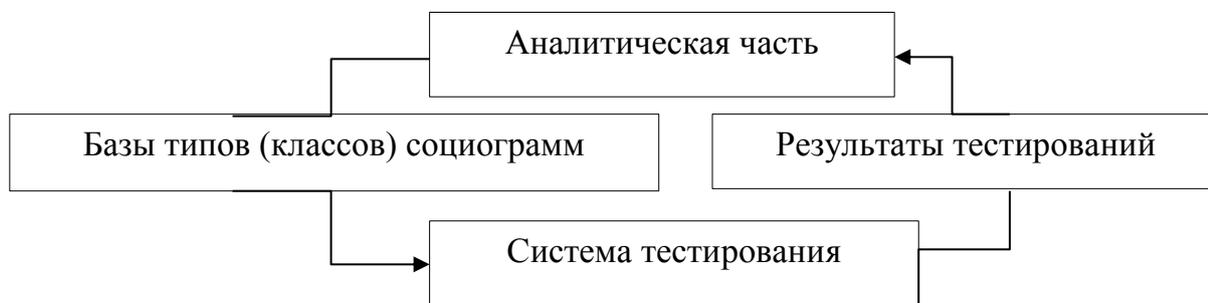


Рис. 1. Структура информационной системы

Система тестирования будет содержать тесты по одному из каждой обозначенной выше группы. Связь системы тестирования с аналитической частью (см. рис.1) превращает информационную систему в систему с обратной связью, с помощью которой будут постоянно решаться задачи адаптации и обновления типологий для всех используемых в системе тестов.

Целью аналитической части является: построение типов (классов) социограмм с привязанными группами профессий, создание, ведение и обновление базы типов социограмм, подсоединение новых профессий к существующим типам (классам) и создание новых типов (классов) по необходимости.

Остановимся подробнее на включенном в систему тесте второй группы. В качестве такого теста выбрана матрица профессий [3].

Матрица представляет собой таблицу из десяти столбцов и десяти строк. В каждой клеточке матрицы находится группа профессий. Координаты клеток по горизонтали определяется объектами труда, по вертикали видами деятельности. Определение предпочтительной группы профессий по матрице профессий состоит из двух шагов для определения координат необходимой клеточки:

1) выбор предпочтительного объекта из группы объектов труда: человек, информация, финансы, техника, искусство, животные, растения, продукты питания, изделия, природные ресурсы;

2) выбор предпочтительного вида деятельности из группы видов деятельности: управление, обслуживание, образование, оздоровление, творчество, производство, конструирование, исследование, защита, контроль.

Таким образом, тестируемый должен дважды произвести выбор из десяти объектов. В разрабатываемой системе для упрощения выбора предлагается использовать несколько метод анализа иерархий [7]. Вместо выбора из десяти объектов проводится попарное сравнение десяти объектов. Метод предлагается использовать в упрощенном виде [8]. Упрощение, по сравнению с классическим методом анализа иерархий, состоит в фиксации только трех оценок парного сравнения:

- объект А предпочтительнее объекта В;
- объект А эквивалентен объекту В;
- объект В предпочтительнее объекта А.

Указанное упрощение позволяет фиксировать результат выбора тестируемым с помощью «галочек» на экране компьютера (см. рис. 2):

- если объект А предпочтительнее объекта В, галочка ставится на пересечении строки, соответствующей объекту А и столбца, соответствующего объекту В;

- если объект А эквивалентен объекту В, галочка ставится на пересечении строки, соответствующей объекту В и столбца, соответствующего объекту А;

- если объект А эквивалентен объекту В, то галочки ставятся как на пересечении строки, соответствующей объекту А и столбца, соответствующего объекту В, так и на пересечении строки, соответствующей объекту В и столбца, соответствующего объекту А.

Что/Чему	1. Человек	2. Информация	3. Финансы	4. Техника	5. Искусство	6. Животные	7. Растения	8. Продукты питания	9. Изделия	10. Природные ресурсы
1. Человек	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Информация	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Финансы	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Техника	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Искусство	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Животные	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
7. Растения	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
8. Продукты питания	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
9. Изделия	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
10. Природные ресурсы	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>								

Рис. 2. Форма для заполнения предпочтений тестируемого при парном сравнении объектов (- предметов труда). Аналогичная форма заполняется при выборе вида деятельности

В заключении отметим, что в предложенной работе были указаны причины постановки и приведено краткое описание разрабатываемой адаптив-

ной профориентационной системы, указаны используемые профориентационные тесты и приведены особенности их реализации.

#### **Список литературы**

1. Методы психодиагностики и профессиональной ориентации // URL: <http://www.mednovosti.by/news.aspx?id=85> (дата обращения: 05.12.2016).
2. Делай то, для чего ты рожден // URL: <http://log-in.ru/books/delaiy-to-dlya-chego-ty-rozhden-pol-taiyger-prakticheskaya-psikhologiya/> (дата обращения: 10.12.2016).
3. Резапкина Г.В. Методика выбора профессии // URL: <http://www.school328.ru/files/b6c14a71-86a8-4cf8-a5be-e963fe6c78d4.pdf> (дата обращения: 08.12.2016).
4. Методика «Карта интересов» (модифицированная методика А.Е. Голомштока) // URL: <http://vsetesti.ru/281/> (дата обращения: 12.12.2016).
5. Тест «Предпочтительные виды профессиональной деятельности» // URL: <http://vsetesti.ru/278/> (дата обращения: 14.12.2016)
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
7. Крупник В.Ш., Остросаблин В.И. Использование метода анализа иерархий для работы с методикой «матрица профессий» // Электронный научный журнал №12, Ар-Консалт, 2016.

### **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА САЛОНОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ НА УСЛОВИЯ ТРУДА И МЕТОДЫ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ**

***Кулешов А.Н.***

ст. преподаватель кафедры электроснабжения и радиотелемеханики,  
Тюменское высшее военно-инженерное командное училище,  
аспирант Механико-технологического института, Государственный  
аграрный университет Северного Зауралья, Россия, г. Тюмень

***Андреев Л.Н.***

доцент кафедры электрообеспечение сельского хозяйства,  
Государственный аграрный университет Северного Зауралья,  
Россия, г. Тюмень

В статье влияние параметров микроклимата салонов грузовых автомобилей на условия труда и методы его улучшения при применении.

*Ключевые слова:* комфортный микроклимат, фотокаталитическая система салонный фильтр, электрофильтр, способы очистки воздуха.

В процессе своей деятельности человек подвергается воздействию неблагоприятных факторов. Одним из этих факторов считают воздействие загрязняющих атмосферный воздух веществ. В связи с этим комфортный микроклимат в салоне автомобиля важная вещь чтобы ею пренебрегать. Он влияет на безопасность участников движения.

В последнее время требования к микроклимату в салоне автомобиля регламентируются.

Одним из главных параметров микроклимата в салоне автомобиля является поступающий воздух. Однако при поступлении из окружающей среды в салон воздух может содержать:

- отработавшие газы двигателей находящихся рядом машин;
- газообразные промышленные выбросы, пыль и копоть;
- микроскопические грибки, бактерии, насекомых, пух, пыльцу и споры растений.

Содержание этих веществ может превышать в несколько раз допустимые значения. Так концентрация мутагенных, канцерогенных, наркотических составляющих газовой смеси, вылетающие из выхлопной трубы впереди идущего автомобиля, превышает среднюю в 3-10 раз, а сами средние концентрации превышают предельно допустимые: по взвешенным веществам в 3-5 раз, парам топлива – в 20-80 раз, бензолу, толуолу – в 2-7 раз, окислам азота и углерода – в 5-25 раз. Некоторые газообразные вещества и взвешенные в воздухе твердые частицы могут вызвать аллергическую реакцию – слезотечение, кашель и чихание, в результате чего у водителя может возникнуть затруднение в управлении автомобилем и снижает безопасность движения.

Так же в кабине автомобиля кроме водителя, в процессе перемещения автотранспорта могут находиться еще несколько человек (работников)

Грузовые автомобили (например КамАЗ и Урал) имеют систему вентиляции (рисунок) с различной комплектацией, но с одинаковой рабочей системой. Вентиляция кабины естественная, осуществляется за счет использования встречного потока воздуха при движении автомобиля. Так же для вентиляции используют поворотные форточки и стекла дверей кабины.

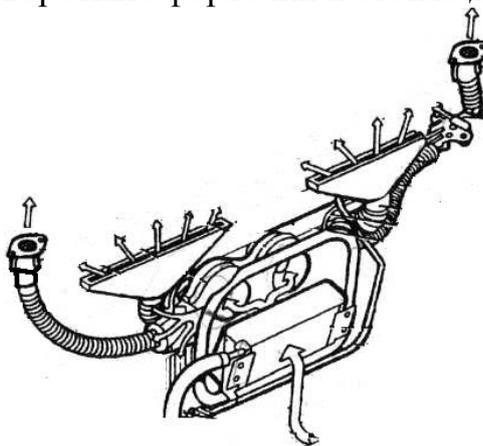


Рис. Система вентиляции воздуха КамАЗ

Наружный воздух подаваемый с помощью систем вентиляции во внутреннее пространство автомобиля зачастую не соответствует санитарным нормам, предъявляемым к микроклимату рабочих зон, что наиболее актуально при продолжительной эксплуатации автотранспорта.

Таким образом вопрос своевременной очистки и обеззараживания вентиляционного воздуха является актуальным.

В России развиваются конструктивные решения повышения качества воздушной среды в кабине. Одно из первых решений по улучшению условий микроклимата кабины автомобиля – фотокаталитическая система очистки воздуха [1].

В данной системе собранный источник загрязнения из воздушной среды не собирается, а тут же уничтожается. Это является не только плюсом данных систем, но и минусом, так как действие фотокатализаторов губительно не только для мертвой органики, но и для живой полезной бактерии, но главным недостатком фотокаталитической очистки воздуха является ее полная бесполезность против загрязнений неорганического характера.

Позднее получило развитие изучение качества воздушной среды в кбинах водителей автобусов и грузовых автомобилей. В результате выполнения этих работ появились экосистемы очистки воздушной среды кабины автомобиля [2].

В настоящее время в автомобилях для регулирования качества воздушной среды поступающей в салон автомобиля используют климат-контроли, а также противопыльные фильтры которые не обеспечивают удаление мелкодисперсионных частиц и практически не улавливают газы составляющие автомобильных выбросов. Применение угольных фильтров обеспечивает более высокую эффективность очистки, но улавливают не все вредные газовые компоненты и имеет ограниченный ресурс [1].

Одним из наиболее совершенных методов очистки газов (воздушной среды) от пыли является электрическая очистка [3]. Этот процесс основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего разряда, передаче заряда ионов частицам примесей и осаждении последних на осадительных и коронирующих электродах.

Загрязненные газы, поступающие в электрофильтр, всегда оказываются частично ионизованными за счет различных внешних воздействий (рентгеновских лучей, радиоактивных излучений, космических лучей, нагрева газа и др.), поэтому они способны проводить ток, попадая в пространство между двумя электродами.

Конструкцию электрофильтров определяют условия работы: состав и свойства очищаемых газов, концентрация и свойства взвешенных частиц, параметры газового потока, требуемая эффективность очистки и т. д.

Для очистки вентиляционных выбросов и рециркуляционного воздуха от различных пылей, а также приточного атмосферного с малой концентрацией загрязнений применяются двухзонные электрофильтры. Поток воздуха в таком фильтре проходит последовательно ионизационную зону, зону осаждения и противоуносный пористый фильтр.

В настоящее время техническое применение электрофильтров нашло применение для отчистки промышленных газов в больших объемах от твердых и жидких примесей.

Применение электрофильтра для улучшения параметров микроклимата в салоне грузовых автомобилей позволит:

1. Производить высокоэффективную очистку и обеззараживание вентиляционного воздуха от пыли, микроорганизмов и вредных газов;
2. Обеспечивать поддержание оптимального микроклимата в салоне автомобиля;
3. Снизить накопление пыли и микроорганизмов в узлах и воздуховодах вентиляционной системы;
4. Повысить энергоэффективность вентиляционной системы и всего автомобиля в целом.

#### **Преимущества электрофильтра:**

- низкое аэродинамическое сопротивление;
- высокая степень очистки;
- способность улавливать частицы размером 10...0,01 мкм и менее;
- возможность регенерации фильтрующего элемента;
- возможность автоматизации всех процессов очистки;
- малое собственное потребление электроэнергии;
- низкая себестоимость очистки.

#### **Недостатки электрофильтра:**

- высокая чувствительность к отклонениям от заданных параметров технологического режима;
- высокая чувствительность к показательным механическим дефектам в активной зоне аппарата.

#### **Список литературы**

1. Трофименко Ю.В., Григорьева Т.Ю. Оценка экологической безопасности легкового автомобиля // Экология и промышленность России. №7, 2004. С. 18-23.
2. Сайкин А.М. Обоснование и разработка комплексных методов снижения загрязнения воздуха в кабинах карьерных самосвалов отработавших газами дизелей. Автореферат диссертации доктора тех. наук, М.: ГНЦ РФ ФГУП НАМИ, 2010. – 47 с.
3. Чекалов Л.В. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов. М.: Русь, 2004. 424 с.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПОИСКА ПУТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА А\***

*Медведев Д.А., Лещинкова А.В., Шамилбеков К.Ш.*  
магистранты по направлению «Информационные системы и технологии»,  
Уральский федеральный университет, Россия, г. Екатеринбург

Рассмотрены алгоритмы поиска кратчайшего пути. Произведён анализ алгоритма А\* (А-звездочка). Была разработана программа поиска кратчайшей пути по алгоритму А\*. Были проведены эксперименты с различными исходными данными, построена диаграмма на основании полученных результатов.

*Ключевые слова:* поиск пути, эвристический поиск, алгоритм А\*.

**Постановка задачи.** Была поставлена *задача* разработать программу, реализующая *алгоритм А\**. В качестве языка разработки был выбран язык JavaScript.

Одним из алгоритмов для поиска оптимальных путей в различных пространствах является A\*. Этот эвристический поиск сортирует все узлы по приближению наилучшего маршрута, идущего через этот узел. Типичная формула эвристики выражается в виде:

$$f(n) = g(n) + h(n),$$

где:  $f(n)$  – значение оценки, назначенное узлу  $n$ ;

$g(n)$  – наименьшая стоимость прибытия в узел  $n$  из точки старта;

$h(n)$  – эвристическое приближение стоимости пути к цели от узла  $n$ .

Этот алгоритм достигает более высокой производительности (по времени) с помощью эвристики [1].

#### **Описание работы программы.**

Для начала, после запуска программы, нужно сгенерировать поле или сетку с ячейками. Пользователь задает размеры (ширину и высоту) поля. После чего, программа рисует заданное параметрами пользователем поле и случайным образом генерирует в нем препятствия (рис. 1).

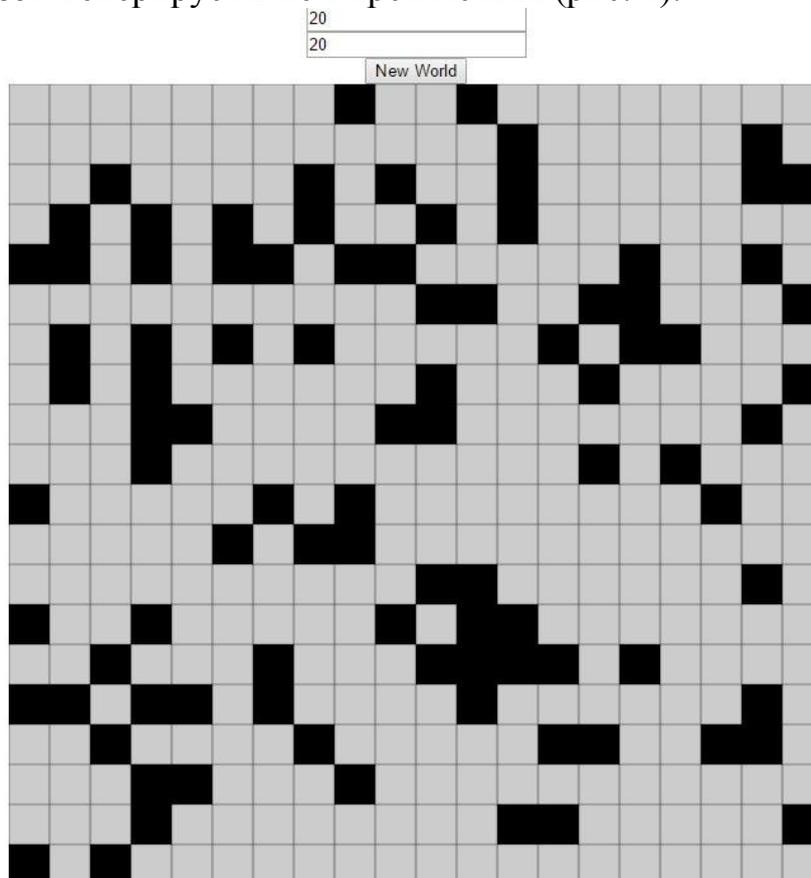


Рис. 1. Web-форма сгенерированного поля

Далее в нем нужно отметить начальную (зеленая) и конечную (красная) ячейки (рис. 2).

Принцип алгоритма состоит в том, что он постепенно просматривает все окружающие текущую позицию ячейки и выбирает ячейку с наименьшим «весом». Стартовая ячейка по умолчанию является первой и единственной «открытой» ячейкой, с которой и начинается поиск пути [1].

**Поиск пути.** Программа ищет у текущей ячейки все «открытые» соседние ячейки и добавляет их в «открытый» список, а текущую ячейку в «закрытый». Далее нужно переместиться в «открытую» соседнюю ячейку, выбрав ту, у которой стоимость ( $F$ ) минимальна.

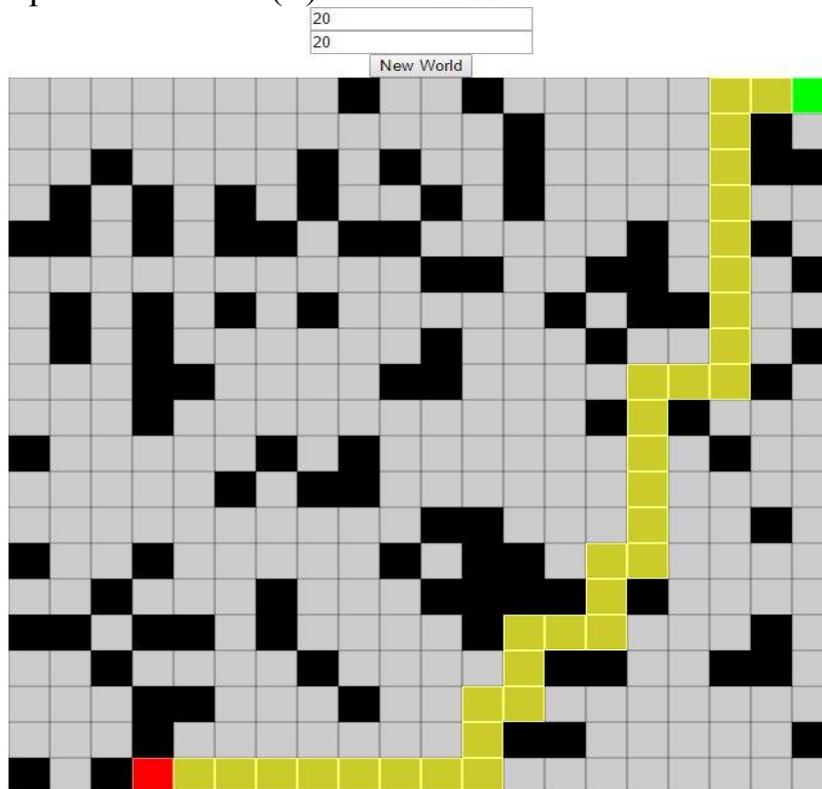


Рис. 2. Web-форма программы поиска пути: пример работы программы

В нашей программе стоимость ( $F$ ) рассчитывается, как «прямое» расстояние до конечной точки. И далее продолжается повторение следующих действий:

- Выставляется текущей ячейке статус «закрытый»;
- Осуществляется поиск «открытых» соседних ячеек;
- Рассчитывается стоимость ( $F$ );
- Далее идет перемещение в ячейку с минимальной стоимостью и т.д.

Как только соседняя ячейка совпадает с целевым, то путь становится сформированным. В результате мы дойдем до конечной ячейки самым коротким путем (рис. 2). А ячейки-преграды, уже в начале алгоритма, заносятся в «закрытый» список и при обходе они игнорируются.

**Результаты и выводы.** В ходе реализации данного алгоритма были достигнуты следующие цели:

- Генерация поля определенного размера;
- Указание начальной и конечной точек;
- Автоматическая установка препятствий;
- Хранение списков открытых и закрытых ячеек, размера поля, начальных и конечных точек;
- Расчет стоимости ячеек;
- Выбор ячейки с минимальной стоимостью.

Далее нами были проведены эксперименты (таблица) для выявления зависимости времени поиска пути от заданного размера поля при условии, что путь существует, количество препятствий равно 10%, начальный узел правый верхний, конечный узел – левый нижний.

Таблица

**Результаты эксперимента**

№	Размер поля (сторона)	Время поиска пути (мс)
1	10	1,1
2	50	11
3	100	19
4	200	58,2
5	300	295,5
6	400	416,7
7	500	1518,7
8	512	1638,4

По полученным результатам был построен график (рис. 3) зависимости времени поиска пути от размера поля.

Таким образом, время поиска пути нелинейно возрастает при увеличении размера поля, что говорит об уменьшении эффективности работы данного алгоритма. Исходя из этого для полей большого размера (больше 400x400) следует рассматривать иные алгоритмы поиска пути.

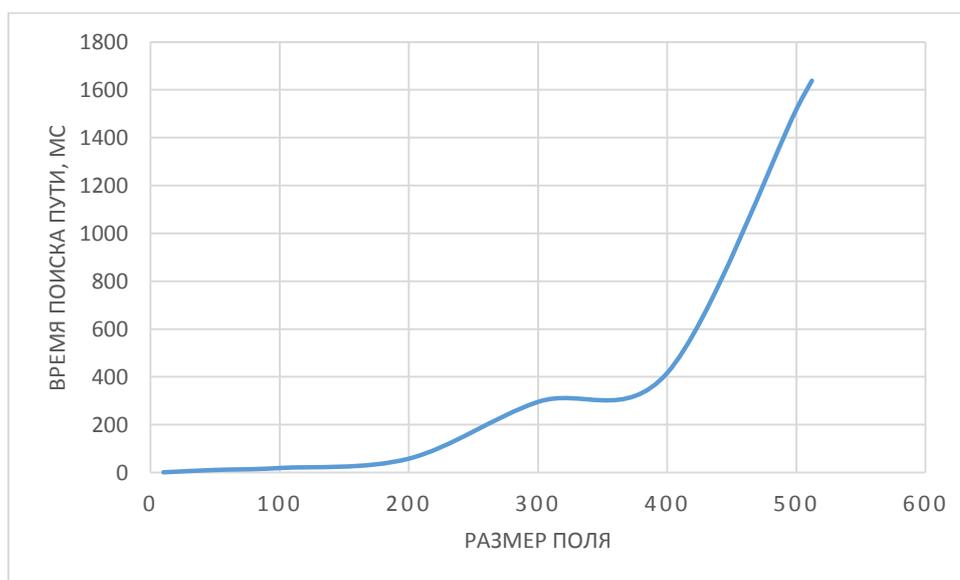


Рис. 3. График зависимости времени поиска пути от размера поля

*Работа выполнена в рамках инициативной НИР «Гибкие технологии разработки программных проектов, web-ориентированных интеллектуальных обучающих систем», проводимой в ФТИ УрФУ под руководством к.ф.-м.н., с.н.с., доцента Клюкина В.Э. [2].*

#### Список литературы

1. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке Prolog, 3-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 640 с.
2. Клюкин В.Э. Web-ориентированные интеллектуальные обучающие системы на основе нечёткого деятельностного подхода в обучении // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. Серия Инженерное образование. 11 ноябрь 2012. – С. 23-43.

# ВНЕЦЕНТРЕННО НАГРУЖЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОЛОННЫ С АРМАТУРОЙ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ПО КОНТУРУ СЕЧЕНИЯ

*Мордовский С.С.*

доцент кафедры строительных конструкций, канд. техн. наук,  
Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара

Цель данной работы – продолжение исследований коротких внецентренно сжатых железобетонных колонн прямоугольного сечения. В данной статье произведена оценка влияния промежуточных стержней продольной арматуры, расположенных по высоте сечения, при расчёте прочности (несущей способности) колонн по нелинейной деформационной модели. Армирование сечения колонны рассмотрено в виде 16 вариантов. Эксцентриситет приложения внешнего усилия варьировался по 4 значениям.

*Ключевые слова:* внецентренное сжатие, колонны, прочность, несущая способность, диаграммы деформирования, промежуточные стержни.

Размеры прямоугольного поперечного сечения железобетонных колонн составляют 400х400 мм, они являются короткими стержнями небольшой гибкости с  $l_0/h \leq 8$  [1], поэтому её влияние на несущую способность не учитывается. Армирование колонн рассмотрено в нескольких вариантах (таблица 1) и выполнено из 6 и 8 стержней арматуры класса А400. Шесть арматурных стержней во всех вариантах армирования расположены у противоположных в плоскости изгиба сторон сечения (арматура S и S'), два оставшихся (промежуточные арматурные стержни) находятся у боковых поверхностей по высоте сечения элемента ( $S_{бок}$ ). Эксцентриситет приложения внешнего усилия в расчёте принят по четырём вариантам (рисунок 1).

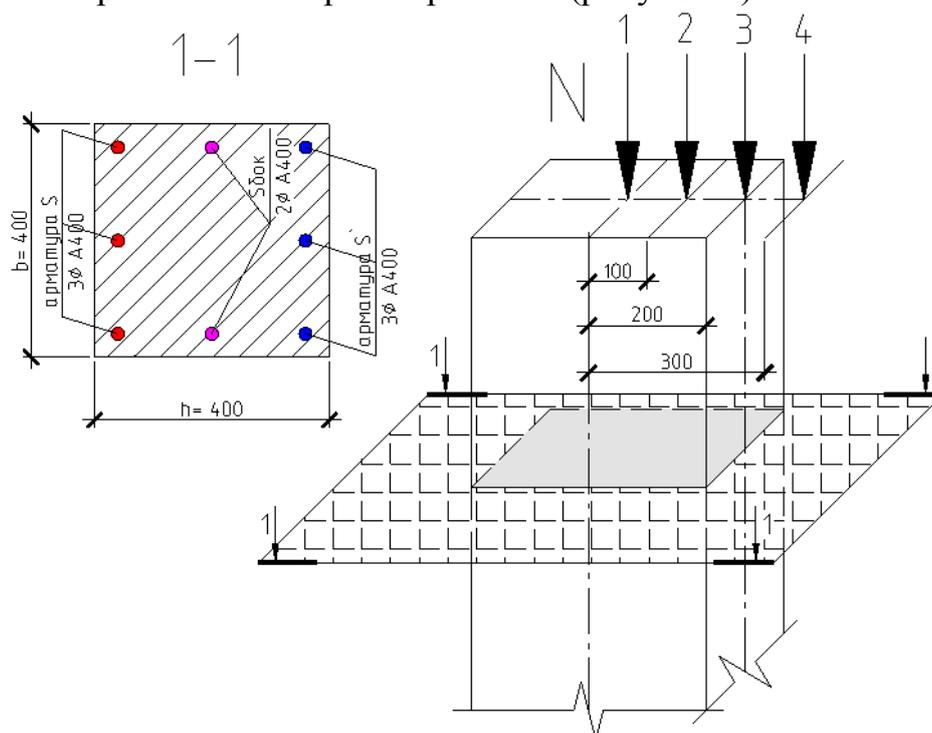


Рис. 1. Сечение элемента и варианты приложения нагрузки N

Ранее был разработан алгоритм [4], заложенный в программе «Расчёт прочности и определение напряжённо-деформированного состояния (НДС) внецентренно сжатых железобетонных элементов», внесённой в Реестр программ для ЭВМ (регистрационный № 2013617747 от 22.08.2013), которая реализована в системе MathCad. Позже алгоритм был модернизирован для возможности выполнения расчёта при армировании сечения колонны «по контуру» с помощью учёта работы промежуточных стержней. В алгоритме, по которому производились расчёты в работе [3], был найден и исправлен недостаток по аналитическому описанию параметра  $k$ , который и приводил к результатам, завышающим уровень влияния промежуточных стержней на прочность колонн. Результаты расчёта по уточнённому алгоритму представлены в виде диаграммы на рисунке 2 и в таблице 2.

Нелинейная деформационная модель в настоящее время заложена в нормативные документы многих стран, широко применяется в различных расчётах железобетонных конструкций [2, 6, 7] и показывает высокую сходимость с экспериментальными данными.

В рассматриваемой программе диаграмма деформирования бетона представлена в виде экспоненциальной зависимости [5], особенности построения которой для внецентренно сжатых элементов описаны в [3]. Для описания арматуры применена двухлинейная диаграмма деформирования по типу диаграммы Прандтля.

Таблица 1

**Геометрические параметры, армирование и прочность материалов колонн**

Вариант армирования №	Армирование колонн	$b$ , мм	$h$ , мм	$h_0$ , мм	Класс бетона	Класс арматуры	$A_{s,tot}$ , мм <sup>2</sup>	$\mu$ , %
1	6d16 A-400	400	400	370	B25	A400	1206	0,81
2	8d16 A-400	400	400	370	B25	A400	1608	1,09
3	6d18 A-400	400	400	370	B25	A400	1527	1,03
4	8d18 A-400	400	400	370	B25	A400	2036	1,38
5	6d20 A-400	400	400	370	B25	A400	1885	1,27
6	8d20 A-400	400	400	370	B25	A400	2513	1,7
7	6d22 A-400	400	400	360	B25	A400	2281	1,58
8	8d22 A-400	400	400	360	B25	A400	3041	2,11
9	6d25 A-400	400	400	360	B25	A400	2945	2,05
10	8d25 A-400	400	400	360	B25	A400	3927	2,73
11	6d28 A-400	400	400	355	B25	A400	3695	2,6
12	8d28 A-400	400	400	355	B25	A400	4926	3,47
13	6d32 A-400	400	400	350	B25	A400	4825	3,45
14	8d32 A-400	400	400	350	B25	A400	6434	4,6
15	6d36 A-400	400	400	350	B25	A400	6107	4,36
16	8d36 A-400	400	400	350	B25	A400	8143	5,82

Работа промежуточных стержней продольной арматуры ( $S_{бок}$ ) оказывает влияние на величину прочности колонн при различных значениях эксцентриситета. В данной работе выполнено сравнение результатов расчёта прочности (несущей способности) колонн с учётом работы стержней  $S_{бок}$  и при их отсутствии (таблица 2).

Таблица 2

## Прочность колонн и значения отклонений

$e_0, \text{ мм}$	$N_{6d16},$ кН	$N_{8d16},$ кН	$\Delta_{16}, \%$	$N_{6d18},$ кН	$N_{8d18},$ кН	$\Delta_{18}, \%$	$N_{6d20},$ кН	$N_{8d20},$ кН	$\Delta_{20}, \%$	$N_{6d22},$ кН	$N_{8d22},$ кН	$\Delta_{22}, \%$
0	2742,3	2883,1	5,1	2854,4	3032,6	6,2	2979,8	3199,8	7,4	3118,2	3384,3	8,5
100	1524,0	1555,1	2,0	1610,8	1655,0	2,7	1704,0	1764,0	3,5	1772,7	1844,8	4,1
200	890,8	892,5	0,2	1002,2	1000,5	-0,2	1107,5	1110,9	0,3	1159,2	1178,5	1,7
300	495,7	545,1	10,0	591,8	625,2	5,7	690,4	710,3	2,9	757,7	770,4	1,7
$e_0, \text{ мм}$	$N_{6d25},$ кН	$N_{8d25},$ кН	$\Delta_{25}, \%$	$N_{6d28},$ кН	$N_{8d28},$ кН	$\Delta_{28}, \%$	$N_{6d32},$ кН	$N_{8d32},$ кН	$\Delta_{32}, \%$	$N_{6d36},$ кН	$N_{8d36},$ кН	$\Delta_{36}, \%$
0	3350,9	3694,5	10,3	3613,2	4044,2	11,9	4009,0	4572,0	14	4457,6	5170,1	16,0
100	1930,8	2033,6	5,3	2083,7	2217,8	6,4	2312,2	2495,7	7,9	2590,9	2843,0	9,7
200	1283,9	1325,1	3,2	1394,9	1452,5	4,1	1558,8	1643,3	5,4	1764,5	1890,2	7,1
300	906,3	907,5	0,1	1033,3	1032,7	-0,1	1174,6	1204,1	2,5	1336,3	1406,1	5,2

Значения относительных отклонений при соответствующих диаметрах арматурных стержней ( $X$ ) определяются по формуле:

$$\Delta_x = \frac{N_{8dX} - N_{6dX}}{N_{6dX}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $6dX$  – армирование поперечного сечения колонны рабочей продольной арматурой диаметром  $X$  в количестве 6 штук;

$8dX$  – армирование поперечного сечения колонны рабочей продольной арматурой диаметром  $X$  в количестве 8 штук.

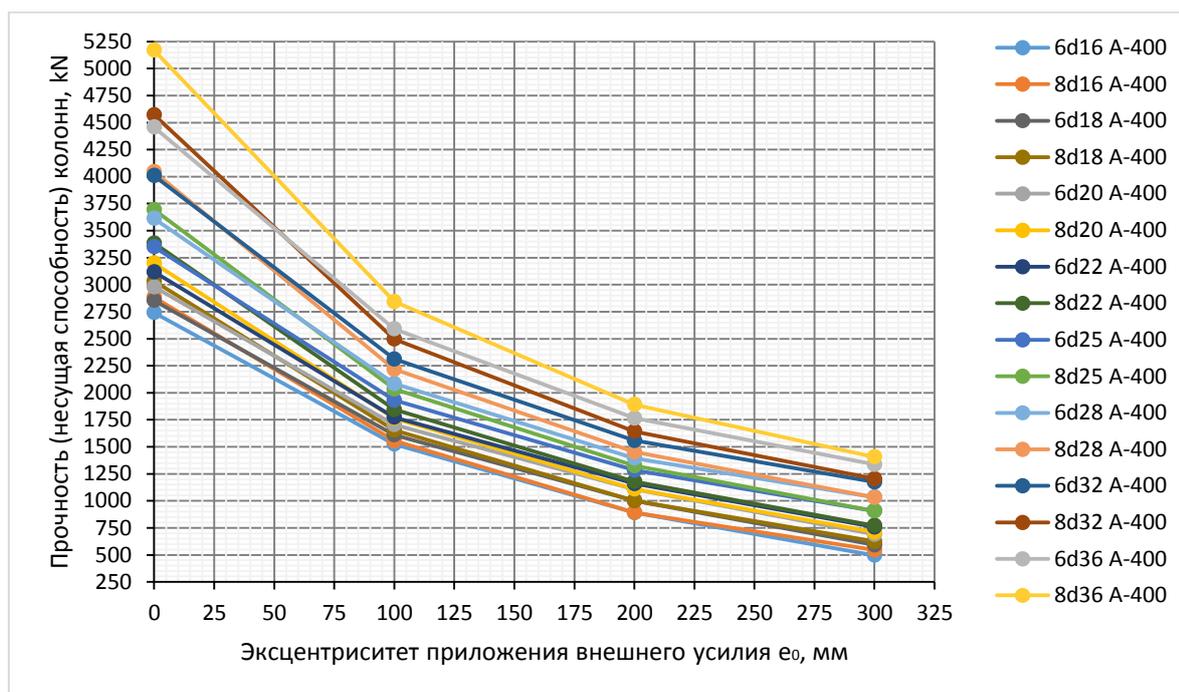


Рис. 2. Зависимости  $N - e_0$  при различных вариантах армирования

**Выводы.** 1. Наибольшее влияние наличие промежуточных стержней на прочность колонн оказывает при  $e_0=0$ , что в рассмотренных вариантах соответствует максимальному проценту армирования  $\mu = (4,36 \div 5,82)\%$  и относительное отклонение при этом составляет  $\Delta_{36} = 16,0\%$ .

Также достаточно сильное влияние получено при слабом армировании ( $\mu = (0,81 \div 1,09)\%$ ) и большом значении эксцентриситета приложения внешнего усилия  $e_0=300$  мм, что соответствует  $\Delta_{16} = 10,0\%$ . В данном случае это обусловлено малой величиной сжатой зоны бетона и соответственно включением в работу на растяжение промежуточных стержней.

2. В таблице 2 имеются результаты с отрицательными значениями отклонений  $\Delta_{18} = -0,2\%$  и  $\Delta_{28} = -0,1\%$  при  $e_0=200$  мм и  $e_0=300$  мм соответственно. Таким образом, получается парадоксальная ситуация, при которой отмечается уменьшение прочности колонны при добавлении двух промежуточных стержней. Анализ расчёта показал, что причина такого явления заключается в принимаемых в процессе загрузки значениях параметра  $k$ , различных для каждого расчётного случая. Так, например, в случае армирования  $8d18$  высота сжатой зоны бетона уменьшилась на  $\approx 3,5$  мм относитель-

но аналогичного показателя при  $6d18$ . Это привело к уменьшению усилия в бетоне  $D_b$  при варианте армирования  $8d18$  и появлению сжимающего усилия в арматуре  $S_{бок}$ . Однако, уменьшение усилия  $D_b$  превысило усилие в промежуточных арматурных стержнях  $S_{бок}$ , чем собственно и обусловлено незначительное снижение величины прочности  $N$ . Данные показатели отклонений следует воспринимать, как отсутствие влияния промежуточных стержней на несущую способность колонн.

#### Список литературы

1. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость. Современные нормы и стандарты. СПб.: Издательство АСВ, 2006. 221 с.
2. Карпенко Н. И., Соколов Б. С., Радайкин О. В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 25-27.
3. Мордовский С.С. Влияние промежуточных арматурных стержней на прочность железобетонных колонн // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей [Электронный ресурс]. – Самара: СГАСУ, 2016. С. 66-69.
4. Мордовский С.С. Расчёт внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением диаграмм деформирования // Бетон и железобетон. 2012. №2. С. 11-15.
5. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы напряженно – деформированного состояния // Известия Вузов. Строительство. 1997. №10. С. 4-6.
6. Тошин Д. С. Применение диаграммного метода в расчетах усиливаемых конструкций // Научное обозрение. 2016. №1. С. 85-89.
7. Panfilov D. A., Pischulev A. A. The methodology for calculating deflections of reinforced concrete beams exposed to short duration uniform loading (based on nonlinear deformation model) // Procedia Engineering. 2014. Vol. 91. Pp. 188-193.

### ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СМК В АТТЕСТАЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ ПО СВАРОЧНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ СИСТЕМЫ НАКС В СВЯЗИ С ВЫХОДОМ ИСО 9001-2015

*Орлова А.А.*

доцент кафедры «Технологии сварки и диагностики», к.т.н., доцент,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Россия, г. Москва

Статья посвящена анализу требований к разработке и внедрению систем менеджмента качества применительно к аттестационным центрам, входящим в систему саморегулируемой организации Некоммерческое партнерство «Национальное Агентство Контроля Сварки» (НАКС). Описаны особенности оказания аттестационных услуг в центрах системы НАКС. На основании анализа деятельности АЦ выявлены особенности систем менеджмента качества (СМК) в аттестационных центрах, которые должны быть учтены при переработке, внедрении и сертификации таких систем при адаптации их к требованиям новой версии ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Основной бизнес-процесс для аттестационных центров системы НАКС – аттестация сварочного производства. Характер деятельности атте-

стационарных центров – специального вида услуги. При разработке и внедрении систем менеджмента качества аттестационных центров должны быть определены требования по качеству также и к аттестационным пунктам, работающим совместно с данным АЦ.

*Ключевые слова:* системы менеджмента качества, сертификация, аттестация, сварочное производство.

Сварочное производство является одним из ведущих секторов в машиностроении. В докладе «О тенденциях развития сварочного производства», выступая на 5-ой научно-практической конференции «Сварка – взгляд в будущее 2013» академик РАН, ректор Волгоградского государственного технического университета, Председатель Президиума Российского Сварочного Профессионального Сообщества Лысак В.И. отметил, что «в сварочном производстве занято свыше 5 млн. человек, рынок сварочной техники и услуг оценивается примерно в 40 млрд. долл., а при постоянном росте мирового потребления стали 2/3 потребления стального проката идет на производство сварных конструкций» [4].

Сварка является в соответствии с определением ГОСТ Р ИСО 9000-2015 специальным процессом, качество выполнения которого без разрушения до сих пор не может быть определено с абсолютной надежностью проведением контроля готовой продукции. Неразрушающие испытания могут дать ограниченную информацию. Они служат для того, чтобы усилить уверенность при приемке сварной продукции, не изменяя при этом ее качества [2].

Важнейшим фактором обеспечения требуемого качества сварочных работ является аттестация и сертификация в сварочном производстве, что особенно важно для объектов повышенной опасности, подведомственных органам федерального надзора за промышленной безопасностью.

Для организации и проведения работ по аттестации и сертификации в сварочном производстве создана саморегулируемая организация СРО НП «Национальное Агентство Контроля Сварки» (СРО «НП НАКС»), которая объединяет юридические лица – аттестационные центры, осуществляющие оценку соответствия в этой области, являющуюся особым видом услуг.

Аттестация сварочного производства изготовления изделий опасных производственных объектов проводится под эгидой Ростехнадзора в соответствии с требованиями документации надзорных органов и является обязательной процедура [5]. СРО НП «НАКС» имеет также аккредитацию в качестве систем добровольной сертификации:

- персонала сварочного производства, специалистов неразрушающего контроля и разрушающих испытаний (рег. № РОСС RU.И1289.04СС03 от 14.09.2015 г.);

- сварочных технологических процессов, оборудования и материалов (рег. № РОСС RU.И1288.04СО03).

Аттестационные центры в подавляющем большинстве являются самостоятельными юридическими лицами. Большинство центров проводит как аттестацию, так и сертификацию сварочного персонала, а также сварочных материалов, оборудования, технологий и родственных процессов.

Аттестационные центры созданы на всей территории России. Это создает условия для развития конкурентной среды внутри самой структуры СРО НП «НАКС».

Область деятельности аттестационных центров соответствует конкретным видам сварочных работ и сварочных процессов.

Многочисленные деловые контакты российских специалистов сварочного производства с европейскими коллегами показали, что сложившиеся партнерства специалистов данного профиля с целью создания совместных проектов, гармонизации нормативных документов, развития и внедрения сертификации дают возможность выхода на мировой рынок российской сварочной продукции. Следование требованиям международных стандартов обеспечения качества выполнения сварки (ИСО 3834) и системы менеджмента качества (ИСО 9001) является существенным фактором, дающим преимущества в конкуренции на национальном и международном уровнях.

Практика показала, что СМК является одним из высокоэффективных рыночных инструментов. На сегодняшний день в мире количество предприятий, сертифицированных по стандартам ИСО 9000, превышает 500 тысяч. Лидеры по количеству сертифицированных предприятий – Китай, Япония, страны Западной Европы, США. В последние годы активную работу по внедрению систем менеджмента качества на своих предприятиях ведут страны Восточной Европы и СНГ. Для потребителей сертификат СМК означает, что вся продукция (услуги) данного предприятия высокого качества [1].

Для повышения уровня признания в России и на международной арене СРО НП «НАКС» поставила задачу и провела большую организационную работу по проведению сертификации системы и ее аттестационных центров, входящих в состав СРО, по документам IAF 71 CD 6 013 на соответствие ИСО 9001-2008.

1 ноября 2015 года в России вышла новая версия стандарта на системы менеджмента качества – ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [3]. Международная организация по стандартизации (ISO) отводит 3 года на переходный период, в течение которого будут признаваться сертификаты, выданные по предыдущей версии стандарта.

Если посмотреть на изменения стандарта 9001 (например, версии 1994, 2000, 2008 и 2015 годов), то прослеживается явная тенденция уменьшения количества обязательных документов, наличие которых требует стандарт. Многие оставляется на усмотрение организации.

Стандарт «не предполагает необходимость:

- согласования документации со структурой разделов настоящего стандарта;

- использование специальной терминологии настоящего стандарта в рамках организации.

Требования к системам менеджмента качества, установленные настоящим стандартом, являются дополнительными к требованиям к продукции и услугам» [3].

Без изменения осталась реализация принципа ориентации на потребителя как основы построения СМК.

Отменены:

- требования разработки Руководства по качеству и шести обязательных документированных процедур (однако организация по своему усмотрению может продолжать использовать эти документы в своей деятельности);
- требование назначения представителя руководства по качеству;
- термины «документ» и «запись». Вместо них введен термин «документированная информация»;
- термин «аутсорсинг». Вместо него введен термин «внешнее обеспечение».

Организация не должна менять структуру своей системы и не должна следовать нумерации разделов нового стандарта.

Появился новый термин «организационная среда организации». Под этим термином следует понимать совокупность внутренних и внешних аспектов деятельности организации, относящихся к ее стратегической цели и способность ее СМК достигать намеченных целей.

В стандарте также используется термин «соответствующие заинтересованные стороны». Только сама организация определяет соответствующие заинтересованные стороны и устанавливает те их требования, которые к ней относятся, основываясь на том, насколько та или иная заинтересованная сторона влияет на способность организации оказывать услуги в соответствии с требованиями потребителей и применимыми обязательными и законодательными требованиями. И здесь следует учитывать, что основной бизнес-процесс в аттестационных центрах в первую очередь направлен на аттестацию сварочного производства опасных производственных объектов, поднадзорных Ростехнадзору [5].

Особое внимание уделено новому подходу «принятие решений, основанное на рисках» («мышление, основанное на рисках»). Концепция риска, т. е. вероятности невыполнения основной задачи СМК по предоставлению потребителю соответствующих его требованиям услуг в целях достижения его удовлетворенности и ранее (скрытым образом) присутствовала в тексте стандарта ISO 9001-2008.

В новой версии требование о принятии решений, основанном на рисках, сформулировано явно и тесно увязано с концепцией процессного подхода. Это позволило отказаться от предупреждающих действий как отдельного требования. При этом риск следует понимать не только как негативное явление, но и как возможность нахождения путей улучшения процессов. При этом не требуется проведения полной, официальной оценки рисков с заполнением «реестров рисков» или каких-либо других документов.

Еще одно крайне важное нововведение относительно документации СМК – термин «документированная информация». Это информация и ее носители, управление и поддержание в рабочем состоянии которых со стороны организации, является требованием. Документированная информация может храниться в любом формате, на любом носителе и быть получена из любого

источника. Термин «документированная информация» заменяет и обобщает термины «документ» и «запись», используемые в тексте ISO 9001:2008.

«Знания организации» – новый термин и требование, являющиеся результатом эволюции требования версии ISO 9001:2008 в отношении управления компетентностью персонала. Он подразумевает определение, накопление и поддержание в рабочем, т. е. доступном для организации состоянии знаний, полученных для обеспечения соответствия требованиям, предъявляемым к оказываемым услугам. Распределение доли знаний, хранимых компетентным персоналом организации, и доли знаний, хранимых на других носителях, осуществляется организацией.

Еще одно серьезное обобщение – введение понятия «внешнее обеспечение», которое учитывает все формы получения продукции и услуг от внешних сторон – таких, как закупки от стороннего поставщика, передача по соглашению с ассоциированными компаниями, передача процессов на аутсорсинг и т. д.

Введены или усилены:

- Понятия «соответствующие стороны».
- Концепция «Принятие решений с учетом рисков».
- Гибкость при использовании документации.
- Требования к лидерству.
- Требование того, что цели должны определять «кто», «что» и «когда».
- Требования по планированию изменений.
- Концепция «Знания организации».
- Требование о том, что планирование операций должно осуществляться с учетом рисков.
- Акцент на достижение процессами соответствия требованиям к продуктам и услугам, и удовлетворенности потребителей.
- Внутренние аудиты должны содержать требования рассмотрения связанных рисков.
- Анализ со стороны руководства должен учитывать стратегическое направление развития организации.

Ключевыми изменениями в новой версии стандарта являются требования по оценке рисков, а также подход, основанный на управлении рисками при проектировании и разработке системы менеджмента.

Новая версия стандарта соотносит практическую деятельность организации с рисками, что отражает реальную практику. Мышление на основе рисков и возможностей, планирование и проведение мероприятий в отношении этих рисков и возможностей, оценка результативности осуществленных мероприятий. И если все действия компании так или иначе учитывают риски, следовать этому алгоритму больших сложностей не представится. Это обычный процесс управления.

В новой редакции стандарта усиливается акцент на роль руководителя компании. Анализ со стороны руководства должен быть ежедневной деятельностью, которая является частью системы. Началом этого процесса служит стратегическое планирование, осуществляемое высшим руководством, в результате которого появляются решения.

Одним из условий членства аттестационных центров в СРО НП «НАКС» является наличие СМК.

СМК описывает систему менеджмента качества аттестационных центров (АЦ) и входящих в них аттестационных пунктов (АП) для ключевого бизнес-процесса «Аттестация и сертификация сварочного производства» и является развернутым продолжением СМК СРО НП «НАКС».

Все АЦ имеют разработанные действующие Руководства по качеству, которые являются основным документом системы менеджмента качества АЦ.

Отказываться от применения данного документа на данном этапе не целесообразно. Следует переосмыслить и актуализировать его содержание в соответствии с новыми требованиями и использовать его в дальнейшей деятельности.

Безусловно СРО НП «НАКС» и все центры, входящие в его систему, ожидает большая работа по переходу на новую версию стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

Какие практические шаги предстоит сделать.

- Необходимо определить среду организации. Это новое требование (п. 4.1). Нужно определить внешние и внутренние факторы, влияющие на деятельность центров и являющиеся фундаментом для работы организации.

- Составить перечень заинтересованных сторон в деятельности центров. О заинтересованных сторонах говорится в п. 4.2 стандарта. Если будут определены заинтересованные стороны, их потребности и ожидания, это будет способствовать достижению стратегических целей организации на основе баланса их интересов. В первую очередь это промышленные компании, развивающие сварочное производство и организации, которые работают с опасными промышленными объектами. Очень важна для АЦ работа с центральным и региональными подразделениями Ростехнадзора.

- Пересмотреть область применения системы менеджмента качества. Все ли сферы деятельности она охватывает? Есть ли необходимость в расширении области применения СМК или наоборот сузить рамки системы? Здесь надо учитывать, что появляются новые виды деятельности, в которых присутствуют сварочные процессы и необходимо проводить оценку соответствия.

- В связи с выходом в свет Федерального закона от 03 июля 2016 года № 238-ФЗ (вступает в силу с 01.01.2017г.) и Профессиональных стандартов, содержащих требования к ряду сварочных профессий, утвержденных Минтрудом, центрам следует готовиться принимать участие в этой работе под руководством Совета по профессиональным квалификациям в области сварки, созданном на базе СРО НП НАКС, что должно быть отражено в документированной информации центров.

- Привести цели в области качества в соответствие со стратегическими целями СРО НП НАКС, членом которой является организация. Соответственно СМК центра должна ориентироваться на стратегические направле-

ния развития. Цели в области качества должны быть гармонизированы со всеми видами деятельности организации. Новый стандарт требует, чтобы действия по достижению целей в области качества планировались (п. 6.2.2).

- Необходимо оценить риски и возможности. Пожалуй, самое главное изменение в новом стандарте – это акцент на риск-ориентированное мышление. В стандарте содержится ряд требований по выявлению и оценке рисков и возможностей (п. 6.1). Необходимо определиться с выбором модели управления рисками. Это остается за самой организацией.

- Рассмотреть возможности управления документированной информацией. Термин «документированная информация» относится к применяемым в предыдущей версии терминам «документированная процедура» и «запись». Можно продолжать их использовать. Кроме того, в новой версии не содержится требований о необходимости разработки обязательных документированных процедур. В процессе перехода на новую версию нужно самостоятельно определить, какую документированную информацию продолжать использовать согласно предыдущему стандарту и как оптимизировать количество документации СМК.

- В новой версии стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (п. 8.1) значительное внимание уделяется планированию и внедрению процессов, необходимых для выполнения требований к предоставлению услуг, управлению процессами в соответствии с установленными критериями.

- Целесообразно пересмотреть процессы проектирования и разработки услуг. Они должны быть определены более детально. Согласно п. 8.3.2 стандарта, организация должна выполнить 10 требований для эффективного управления процессами проектирования и разработки.

- Определиться с управлением взаимоотношений с внешними поставщиками. Требования стандарта здесь довольно жёсткие и масштабные (п. 8.4.).

- Центрам необходимо определить, как оценивать результаты деятельности, что должно подлежать мониторингу и измерениям, методы мониторинга и измерений, периодичность анализа и оценки результатов.

- Оценить, как проводить анализ и оценку данных и информации. В новой версии стандарта сохранились требования по анализу со стороны руководства (п. 9.3.). Также появились требования к постоянному улучшению (п. 10.3), но предупреждающие действия заменены подходом, основанным на оценке и анализе рисков (или риск-ориентированном мышлении).

Таким образом на данный момент одной из основных задач СРО НП «НАКС» и входящих в его структуру центров является доработки системы менеджмента качества в соответствии со стратегическими целями организации и в условиях постоянно изменяющейся деловой среды в соответствии с требованиями новой редакции ИСО 9001-2015.

#### Список литературы

1. Дзиркал Э.В. СМК. Европейские впечатления // Методы менеджмента качества. 2010. № 2. С. 24-25.

2. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартиформ, 2015. 48 с.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартиформ, 2015. 24 с.
4. 5-я научно-практическая конференция «Сварка – взгляд в будущее 2013» (специальный раздел «НАКС информирует») // Сварка и диагностика. 2013. № 3. С. 7-8.
5. Сборник нормативных и методических документов системы аттестации сварочного производства / К.Б. Пуликовский, Б.А. Красных, Н.П. Алешин [и др.]. М., 2006. 435 с.

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ В СОЦИАЛЬНЫХ ЗДАНИЯХ**

***Тараканов Д.В.***

преподаватель кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ, канд. техн. наук, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, г. Иваново

***Палин Д.Ю., Кузнецов А.В.***

магистранты, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, г. Иваново

***Саттаров И.Ф.***

начальник отдела, АО «ПТС», Россия, Московская область, д. Слащево

В статье рассматриваются особенности разработки компьютерного симулятора ликвидации пожаров в социальных зданиях.

*Ключевые слова:* компьютерная модель, ликвидация пожара, социальные здания.

Особенности ***тактики тушения пожара*** на социальных объектах прежде всего, определяются необходимостью реализации действий по спасению людей из здания и ликвидации пожаров. Общая концепция реализации действий заключается в расстановке приоритетов и последовательности их выполнения. При этом принципы определения решающего направления при принятии решений, отдают главный приоритет задаче спасания людей, реализация которой требует временных затрат, определяющих дальнейшее развитие пожара до масштабов крупного. Этот факт в свою очередь подтверждается и тем, что сосредоточение сил и средств гарнизона пожарной охраны к месту пожара на рассматриваемых объектах осуществляется автоматически по повышенному номеру вызова.

На здания объектов социальной сферы разрабатываются карточки тушения пожара в которых отражаются особенности внутренней планировки здания, места нахождения людей, пути подъезда к зданию пожарной техники и другая полезная в оперативно-тактическом смысле информация. Карточки тушения пожара с определенной периодичностью отрабатываются личным составом дежурных караулов пожарных частей в зоне ответственности кото-

рых находятся вышеупомянутые объекты. Одним из способов отработки карточек тушения пожара является решения пожарно-тактических задач. Современные информационные технологии позволяют реализовывать процесс решения пожарно-тактических задач с применением компьютерных программ-компьютерных симуляторов. Вопросы эффективности применения симуляторов в подготовке пожарных рассмотрены в работе [1].

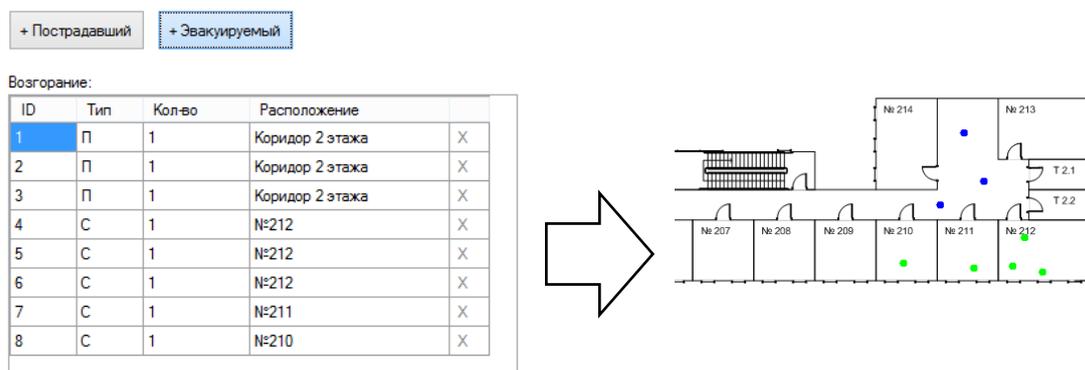
Для моделирования действий по тушению пожаров в зданиях объектов социальной сферы разработан компьютерный симулятор (далее компьютерная модель) [2]. Архитектура и принципы разработки компьютерной модели, представлены в работах [3-5]. Особенностью же данной модели является возможность размещения на планировке мест расположения людей в помещениях, выходы из которых блокированы пожаром, то есть людей которых необходимо спасти с использованием приемов, реализуемых снаружи здания.

Компьютерная модель для решения пожарно-тактических задач создана на примере двухэтажной спортивной школы с двумя спортивными залами и коридорной планировкой административной части (рисунок 1).



Рис. 1. Планировка первого этажа спортивной школы

При подготовке к решению задачи преподаватель (руководитель занятий) разрабатывает замысел задачи, а именно указывает место расположения очага пожара и местонахождения спасаемых людей в здании. Реализация данной процедуры в компьютерной модели указана на рисунке 2.



Указание позиции спасаемых

Визуализация на 2D схеме

Рис. 2. Размещение спасаемых в здании компьютерной модели

Манипуляция объектами компьютерной модели предусматривает использование заранее указанных мест для установки пожарной техники и размещения личного состава, как на рисунке 3.

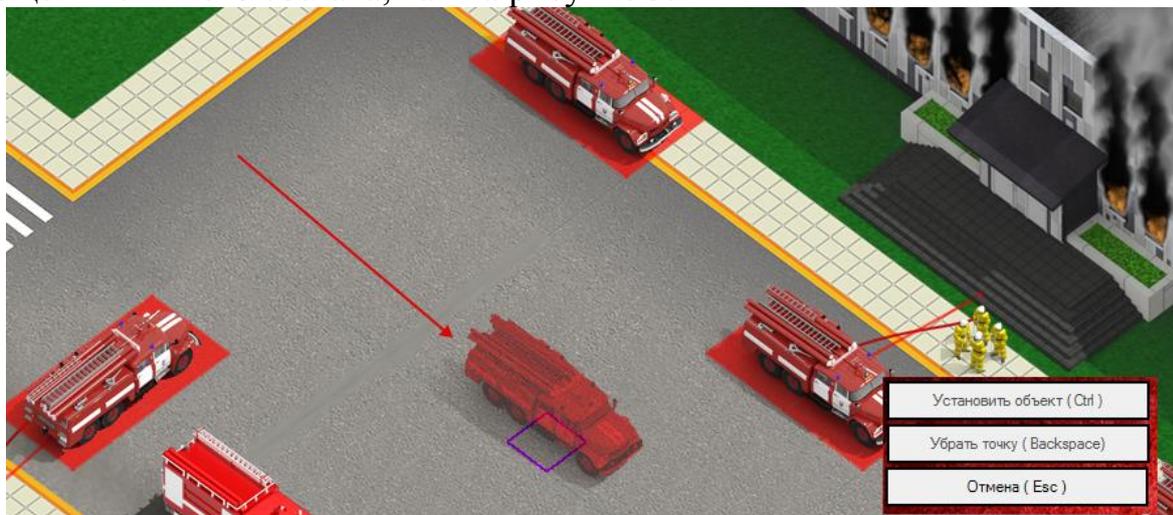


Рис. 3. Структура манипуляция над объектами компьютерной модели

Действия по ликвидации пожара внутри здания производятся путем введения звеньев газодымозащитной службы. Использование компьютерной модели при тактической подготовке пожарных в части отработки карточки тушения пожара позволяет повысить оперативность решения задач и тем самым увеличить количество сценариев, прорабатываемых за одно и то же время в сравнении с классическими подходами.

### Список литературы

1. Тараканов Д.В., Саттаров И.Ф. Компьютерная модель ликвидации пожаров для тактической подготовки пожарных // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 6 (58). 2014. 14 с.
2. Саттаров И.Ф., Тараканов Д.В. Виртуальный тактический симулятор ликвидации пожаров в зданиях объектов социальной сферы Свидетельство об официальной регистрации в Реестре программ ЭВМ №2015619356 от 11 ноября 2015 г.
3. Тараканов Д.В., Саттаров И.Ф. Компьютерное моделирование тушения пожаров для тактической подготовки пожарных Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч.1. – М. Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 165 – 167 с
4. Тараканов Д.В., Варламов Е.С., Илеменов М.В. Компьютерное моделирование процессов развития и тушения пожаров в зданиях // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – Выпуск № 5 (57). – 10 с. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
5. Тараканов Д.В. Многоагентная система моделирования тушения пожаров в социальных зданиях // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – Выпуск № 5 (69). – 10 с. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

## **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ**

***Тараканов Д.В.***

преподаватель кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ, канд. техн. наук, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, г. Иваново

***Гринченко Б.Б.***

адъюнкт, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, г. Иваново

Предлагается аналитический выбор вида функции для решения задачи ранжирования маршрутов движения внутри здания с целью выбора маршрута, обеспечивающего минимальное время прибытия пожарных к очагу пожара.

*Ключевые слова:* пожар, здание, маршрут движения.

При проведении разведки пожара на начальном этапе его развития внутри здания важными вопросами являются: своевременное обнаружение места расположения очага пожара и возможность продвижения к нему в условиях ограниченной видимости. Для повышения качества проведения разведки пожара может быть использована информация, получаемая от систем пожарной автоматики, с адресной системой мониторинга [1]. Одно из направлений развития систем пожарной автоматики заключается в создании адресных средств обнаружения пожара по нескольким признакам, например, повышенная температура и оптическая плотность дыма [2, 3]. Данная информация может быть использована при выборе наилучших маршрутов движения пожарных к очагу пожара внутри здания.

В исследованиях, посвященных движению звена газодымозащитной службы при ликвидации пожара в здании представлены данные, позволяющие количественно оценить снижения скорости движения от условий видимости [4]. Однако, детализация полученных данных не позволяет с необходимой точностью прогнозировать время прибытия пожарных к очагу пожара по заданному маршруту. В данной работе выдвигается теоретическая гипотеза, состоящая в том, что детализация полученных в работе [4] данных с учётом их математической обработки достаточна для формирования многокритериальной функции, позволяющей ранжировать варианты движения пожарных внутри здания с целью выбора наиболее предпочтительных в зависимости от их протяженности и условий видимости. Результаты многокритериального анализа предполагается использовать в системе поддержки управления реализованной на базе электронной карточки тушения пожара [5]. Система по функциональному назначению является советующей и может быть применима только на правах дополнительной информации к результатам разведки пожара, проводимой классическими способами [6].

Действия по ликвидации пожаров на начальных этапах развития внутри здания реализуются звеньями газодымозащитной службы. На пожарных внутри здания воздействует агрессивная среда пожара, характеризующаяся повышенной температурой и снижением видимости. При работе в таких средах, пожарных защищают дыхательные аппараты. Повышенная температура среды определяет условия нормальной эксплуатации дыхательных аппаратов пожарных и является ограничивающим фактором при выборе маршрута движения, а снижение видимости в дыму, фактор влияющий на скорость движения пожарных по выбранному маршруту.

В современных аналитических системах [6], предназначенных для решения дискретных многокритериальных задач при ранжировании вариантов по предпочтительности используется мультипликативная функция:

$$\Phi(x) = \prod_{i=1}^m f_i(x)^{\omega_i} \quad (1)$$

где  $f_i(x)$  – числовая функция (частный критерий) принимающая дискретные значения на счетном множестве вариантов  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $n$  – количество элементов в  $X$ ;  $\omega_i$  – коэффициенты важности, характеризующие степень вклада частного критерия  $f_i(x)$  в многокритериальную функцию  $\Phi(x)$ , и отвечающие условию нормировки  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ . Предпочтительность вариантов

определяется максимизацией значений частных критериев  $f_i(x)$  и многокритериальной функции  $\Phi(x)$  на счетном множестве  $X$ .

Выбранный вид многокритериальной функции обусловлен тем, что время движения пожарных внутри здания представляет собой произведение двух множителей: протяженности маршрута движения и отношения скорости движения на маршруте к единице, то есть

$$\tau_{ГДЗС} = L \cdot \frac{1}{v_{ГДЗС}}, \text{ мин} \quad (2)$$

$v_{ГДЗС}$  – скорость движения звена ГДЗС, м·мин<sup>-1</sup>;

$L$  – расстояние, которое необходимо преодолеть пожарным при движении к очагу пожара, м.

Исследование вопросов снижения скорости движения звена ГДЗС от условий видимости проводилось в работе [4]. Результатом данного исследования является количественная оценка снижения скорости движения звена ГДЗС на маршруте протяженностью 35 м в зависимости от условий видимости.

Аппроксимация экспериментальных данных с помощью степенной функции вида:

$$y(x) = 0,5 \cdot x^{0,2}, R=0,95 \quad (3)$$

где  $y(x)$  – функция, количественно характеризующая коэффициент снижения скорости движения звена ГДЗС, а  $x$  аргумент – видимость на участке движения, м.

Анализ экспериментальных и теоретических данных позволил получить зависимость скорости движения звена ГДЗС от условий видимости на участке движения

$$v_{ГДЗС} = v_0 \cdot A \cdot \Omega^\alpha \quad (4)$$

где  $v_0$  – скорость движения звена в нормальных условиях видимости (30 м) на маршруте движения, м·мин<sup>-1</sup>;

$\Omega$  – средняя видимость на участке движения звена, м;

$A=0,5$  и  $\alpha=0,2$  эмпирические коэффициенты.

Подставим выражение (4) в формулу (2) получим

$$\tau_{ГДЗС} = \frac{L}{v_0 \cdot A \cdot \Omega^\alpha}, \text{ мин} \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет оценить время движения звена на маршруте протяженностью  $L$  с учетом условий видимости  $\Omega$ .

Для сравнения маршрутов движения звеньев ГДЗС внутри здания с целью выбора предпочтительного варианта произведем анализ выражения (5). Так как в процессе принятия решений при выборе маршрута движения звена ГДЗС необходимо минимизировать время движения по маршруту, то для перехода к максимизации функции (1) представим выражения (5) следующим образом:

$$\frac{1}{\tau_{ГДЗС}} = \frac{v_0 \cdot A \cdot \Omega^\alpha}{L} \Rightarrow \frac{1}{v_0 \cdot A \cdot \tau_{ГДЗС}} = \frac{1}{L} \cdot \Omega^\alpha, \quad (6)$$

Возведем обе части выражения (6) в степень  $\frac{1}{1+\alpha}$  получим

$$\left( \frac{1}{v_0 \cdot A \cdot \tau_{ГДЗС}} \right)^{\frac{1}{1+\alpha}} = \left( \frac{1}{L} \right)^{\frac{1}{1+\alpha}} \cdot (\Omega^\alpha)^{\frac{1}{1+\alpha}}$$

Тогда сформируем мультипликативную функцию для ранжирования маршрутов движения:

$$\Phi(x) = f_1(x)^{\omega_1} \cdot f_2(x)^{\omega_2} \quad (7)$$

где  $f_1(x) = \frac{1}{L(x)} \rightarrow \max$ ,  $f_2(x) = \Omega(x) \rightarrow \max$ ,  $\omega_1 = \frac{1}{1+\alpha}$ ,  $\omega_2 = \frac{\alpha}{1+\alpha}$ , откуда

следует условие нормировки  $\omega_1 + \omega_2 = 1$ .

Мультипликативная функция (7) может быть использована для выбора наилучших маршрутов движения только с учетом рекомендаций, обеспечивающих выполнение правил охраны труда при работе в непригодной для дыхания среде здания при пожаре, а также с учетом требований других документов, регламентирующих деятельность по тушению пожаров в зданиях.

### Список литературы

1. Тараканов Д.В., Семенов А.О., Гринченко Б.Б. Оценка эффективности применения информации от адресных систем обнаружения пожара при поиске очага пожара в здании // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч.1. – М. Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 160-163 с.
2. Членов А.Н. Новые методы и технические средства к обнаружению пожара: монография. – М.Академия ГПС МЧС России, 2007. – 185 с.
3. Членов А.Н., Буцынская Т.А. Комбинированные пожарные извещатели Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» №1, 2008. – 1 с.
4. Чистяков И.М., Краснов И.А., Соколов Е.Е. Анализ работы звеньев ГДЗС в условиях ограниченной видимости // Материалы IX международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» / Иваново.: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 175-176.
5. Тараканов Д.В., Варламов Е.С., Илеменов М.В. Программное средство для разработки электронных документов предварительного планирования действий по тушению пожаров в зданиях // Материалы двадцать второй международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2013» – Москва: Академия ГПС МЧС России. – С. 184-188.
6. Тараканов Д.В. Система информационной поддержки управления звеньями газодымозащитной службы при ликвидации пожаров в зданиях // Материалы X международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» / Иваново.: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 185-186.

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

*Харитонова А.М.*

ст. преподаватель кафедры компьютерных технологий,  
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова,  
Россия, г. Чебоксары

В статье рассматриваются вопросы разработки автоматизированных систем с применением возможностей современных информационных технологий. Работа подсистемы представлена конечным автоматом. Приводятся характеристики конечного автомата и их семантические соответствия к производственному процессу. В качестве инструмента реализации конечного автомата использована платформа .NET Framework с применением компонентов набора State Machine.

*Ключевые слова:* автоматизированные системы, производственный процесс, семантика, база знаний, конечный автомат, прикладная онтология.

В настоящее время актуально создание мощных и дешевых методов разработки и использования автоматизированных систем. Подходами к решению данной проблемы являются создание моделей на основе концептуального анализа исследуемых объектов, формализация процессов, исследование взаимодействия потоков старого и нового форматов с применением новейших информационных технологий, а также использование семантических технологий, призванных обеспечить обработку и использование оперативной информации предметной области с учетом ее семантики. Все это дает возможность разработчикам строить собственные концептуализации пред-

метной области, решать задачи классификации, интеграции, применения информационных ресурсов, что является важным этапом при решении задач перевода описания, интерпретируемого человеком, в описания, интерпретируемые машиной.

Область данного исследования – изучение состояний оперативного управления процессами автоматизации с целью развития методов разработки и использования автоматизированных систем и применения их в процессах управления. В качестве концептуальной модели системы управления рассматривается конечный автомат (КА), приведенный на рис. 1. В работе [4] он предложен как модель подсистемы автоматизированного контроля комплектующих (АКК) системы управления производством. Конечный автомат определяется пятеркой объектов:  $M = (S, R, \delta, s_0, F)$ , где  $S$  – конечное множество состояний автомата;  $R$  – конечное множество допустимых входных символов;  $\delta$  – функция переходов: отображение множества  $(S \times R)$  в подмножество состояний  $P(S)$ ;  $s_0$  – начальное состояние автомата;  $F$  – множество заключительных состояний. Цикл выполнения очередного производственного заказа включает в себя распознавание той или иной из последовательности цепочек, каждая из которых состоит из одного или нескольких шагов на конфигурациях этого автомата.

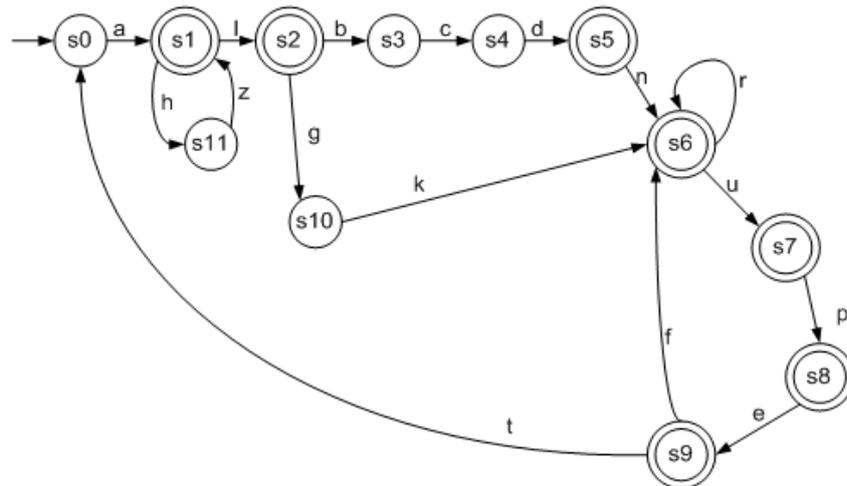


Рис. 1. Конечный автомат языка функционирования подсистемы АКК

Входная цепочка определяется пользователем подсистемы АКК. Каждому участнику производственного процесса соответствуют собственные цепочки для управления производством, проведения корректировок при выполнении текущего задания. При наличии ресурсов заказ продвигается вперед в соответствующем входной цепочке направлении. Например, цепочка  $\alpha = alg$  является запросом на формирование закупки для заказа, а цепочка  $\beta = abcdefk$  является запросом на продвижение заказа до поступления его на производственный склад, включая печать накладной на перемещение товароматериальных ценностей и само производство продукции. Описание концептов КА применительно к данной предметной области с подробным описанием формальной семантики символов алфавита КА и соответствующих им предикатов с применением конструкторов дескрипционной логики приводится в [2].

Ниже приводятся некоторые особенности применения этой модели (конечного автомата) и ее составляющих для разработки управляющей программы и интерфейсов пользователей подсистемы АКК с применением современных технологий. При этом можно выделить 3 этапа: программную реализацию конечного автомата, исследование процессов обработки и управления событиями выполнения заказа с применением реализованной модели, формирование и анализ динамических составляющих базы знаний предметной области.

Для программной реализации конечного автомата использована инфраструктура технологии .NET Framework. Этот инструмент предоставляет набор услуг для таких условий, когда исполнение заказа может занять долгое время, необходимы приостановки или отмены процессов, или требуется проводить анализ и изменение логики ведения процессов. Применение новейших компонентов инфраструктуры для работы с состояниями позволяет легче и быстрее создавать модели исследуемых процессов, проводить их реализации. На рис. 2 представлен конечный автомат с применением компонентов State Machine режима Workflow, который является удобным инструментом представления состояний реализуемой подсистемы АКК и условий выполнения переходов в этих состояниях. По этой модели, как и по модели на рис. 1 можно проследить процесс выполнения заказа для любой заданной предварительно цепочки. То есть каждый пользователь с собственной цепочкой продвижения может обслуживаться с помощью одной и той же реализации модели.

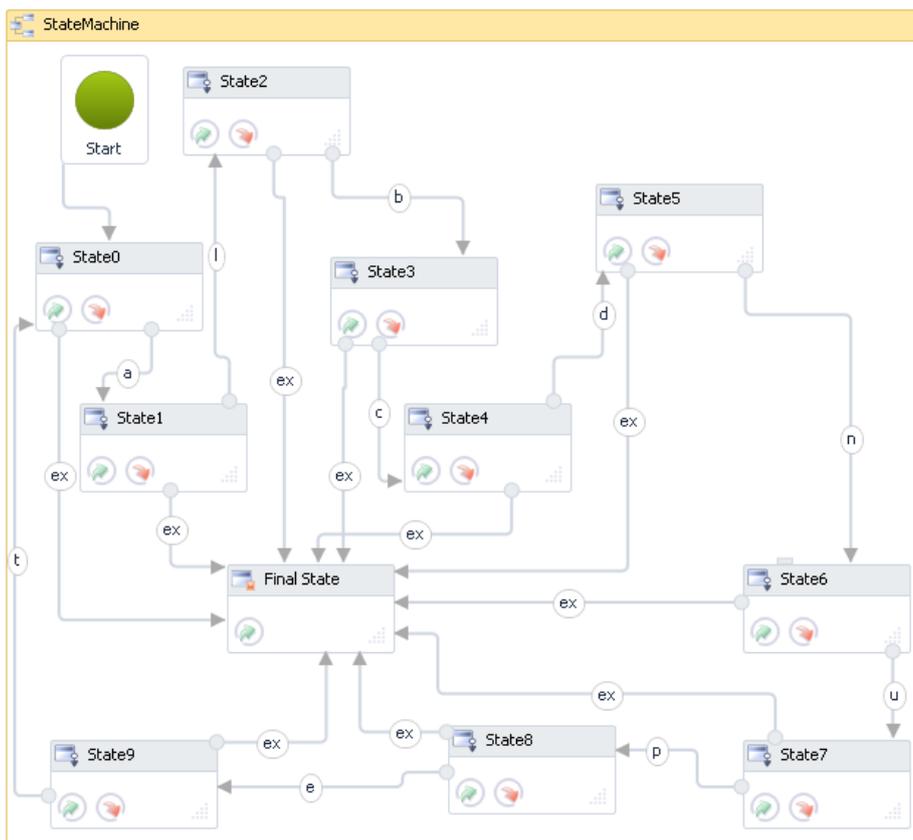


Рис. 2. Представление состояний КА компонентами State Machine

Технология State Machine инфраструктуры позволяет проводить многоуровневую реализацию модели. На рис. 3 приводится пример реализации одного из состояний КА. Состояние обслуживается активностями трех видов: функций, выполняемых до переходов, переходов и функций, выполняемых после переходов. Надо отметить, что каждая цепочка заказа управляет продвижением заказа по собственному маршруту, а возможность продвижения обеспечивается наличием того или иного производственного ресурса, обозначенного в модели элементом концепта К, у которого индексом является соответствующий символ цепочки данного перехода.

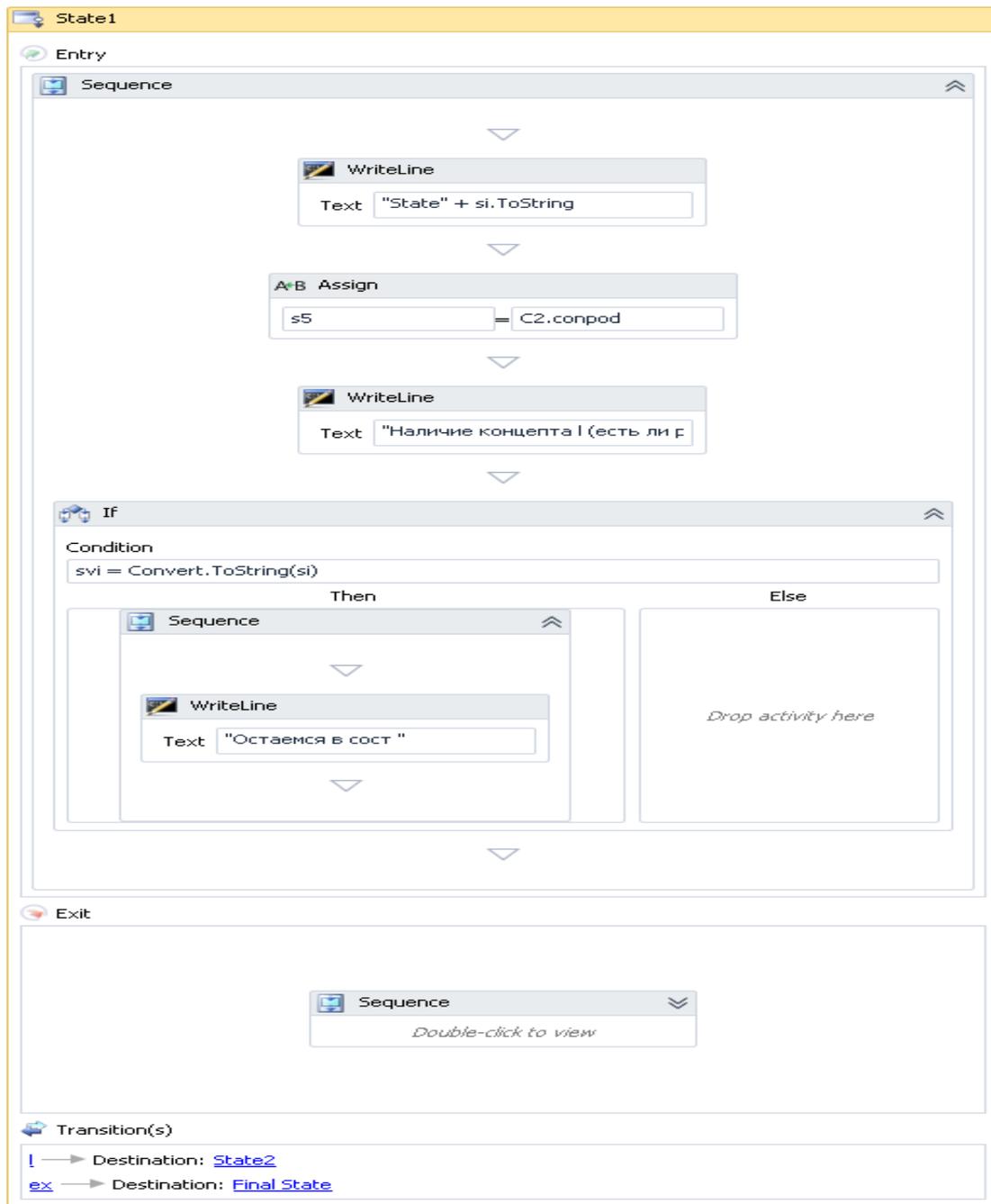


Рис. 3. Структура анализа текущего состояния

Реализация конечного автомата основана на анализе записей в файлах баз данных, формируемых в процессе выполнения производственных зака-

зов. Для формирования этих записей создаются специальные функции, которые связаны с двумя типами задач: прямыми и обратными. Прямые задачи связаны с расчетами из основных принципов функционирования данного предприятия. А обратные – связаны с обработкой данных производственного процесса, что позволяет в дальнейшем классифицировать их выходные данные как динамические. Для выполнения этих функций сформированы также предикаты. Они используются в составе исполняемых запросов и позволяют анализировать наличие ресурсов для выполнения соответствующих функций перехода.

С применением моделей и структур предварительного исследования разрабатывается система автоматизированного контроля комплектующих (АКК) производства изделий приборостроения. Работы ведутся в трех направлениях. Первое позволяет формировать, наполнять и редактировать онтологию предметной области, второе – использование готовых модулей, структур и объектов процессе управления подсистемой АКК, третье предоставляет интерфейсы для исследования и модернизации существующей предметной области, предлагая режимы моделирования производственного процесса и интеграционных процессов с использованием онтологической базы.

#### **Список литературы**

1. Михайлов В.А., Андреев Е.Д., Сергеев Е.С. Методы и приемы использования ТРИЗ на производстве // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 166.
2. Харитонова А.М. Применение конечных автоматов при разработке АСУ производственного процесса // Компьютерные технологии и моделирование: сб. науч. трудов: / Вып. 9. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. – с.40 – 48.
3. Харитонова А.М. Формирование онтологической базы АСУ ПП // В сборнике: Наука и образование в жизни современного общества сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 12 частях. – 2015. – С. 156-157.
4. Харитонова А.М., Сергеев Е.С., Пигачёв П.В. Модели и методы применения и развития автоматизированных систем // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 398.

## **ВКАТАННЫЙ ПРИГАР НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ**

***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 пригар. 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 пригар, модель упругопластической сплошной среды.

**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.

**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 стресса 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%.

**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. 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 пригар на внешней поверхности трубы

**Критерий упругопластического разрыва трубы при дефекте вкатанный пригар.** Вкатанный пригар – 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 металла 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).

Под действием внутреннего давления металл стенки трубы в зоне дефекта вкатанный пригар испытывает сложное сопротивление: окружное растяжение, радиальное сжатие и концентрацию напряжений. Внешняя стенка трубы разрушается, когда максимальные касательные напряжения достигают

половины предела прочности  $\sigma_b$ . Разрушение стенки трубы при дефекте вкатанный пригар происходит при достижении в трубе критического давления:

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

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,  $\sigma_b = 684$  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 пригар 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.



Рис. 2. Дефект вкатанный пригар разорванной 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 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 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. 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 двенадцатирولیковой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук.

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 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 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 листоправильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Agrasate // 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 Agrasate // 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 листоправильной 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 листоправильной 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 двенадцатирولیковой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 105-114.
94. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах двенадцатирولیковой 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.

## **ГОФР КРОМКИ СТАЛЬНОГО ЛИСТА ПРИ ФОРМОВКЕ НА ПРЕССЕ**

***Хоркин В.Н.***

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

Получен математический критерий возникновения гофра кромки стального широкого листа на кромкогибочном прессе при производстве сварных толстостенных одно-

шовных 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] (рис. 1).



Рис. 1. Деформация листовой заготовки на КГП

На первой стадии процесса осуществляется подгибка кромок листовой заготовки на кромкогибочном прессе (КГП) пошаговым способом одновременно с двух сторон [1, 3, 5, 6].

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.

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).

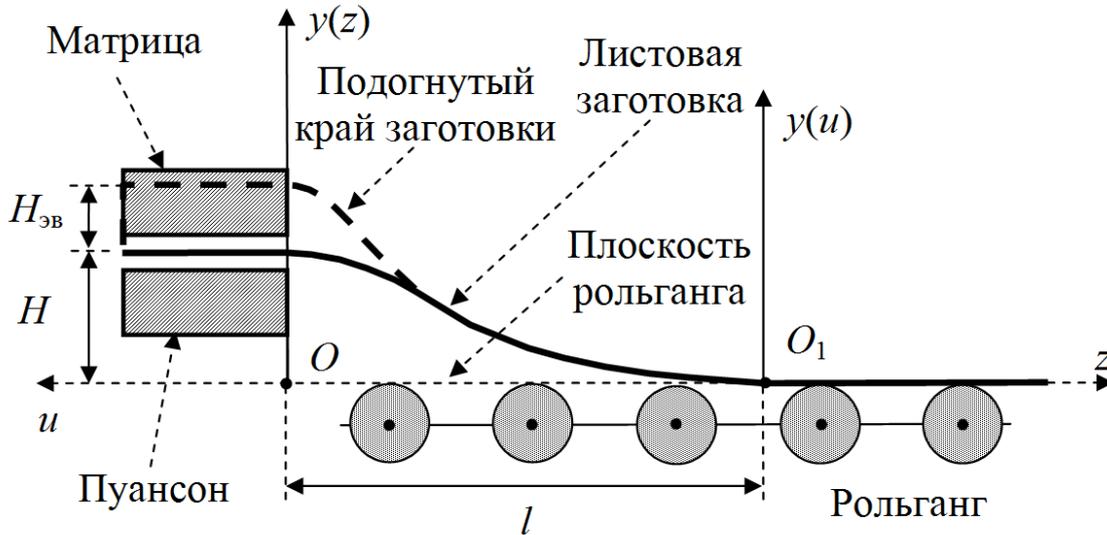


Рис. 2. Форма продольной кромки листовой заготовки на КГП

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.

Пусть  $O_1$  – точка отрыва листа от плоскости рольганга в декартовой прямоугольной системе координат  $O_1yu$  и  $Ouz$ :  $u = l - z$ . Дифференциальное уравнение продольной нейтральной линии листа имеет вид

$$EJ_x \frac{d^4 y(u)}{du^4} = -q,$$

После интегрирования по  $u$  с учетом граничных условий

$$y(0) = 0, \quad y(l) = H, \quad \left. \frac{dy(u)}{du} \right|_{u=0} = 0, \quad \left. \frac{dy(u)}{du} \right|_{u=l} = 0,$$

получаем

$$EJ_x \frac{d^2 y(u)}{du^2} = \left( -\frac{ql}{12} + \frac{6EJ_x H}{l^3} \right) + \left( \frac{ql}{2} + \frac{12EJ_x H}{l^3} \right) u - \frac{qu^2}{2} = M_x(u),$$

$$EJ_x \frac{dy(u)}{du} = \left( -\frac{ql}{12} + \frac{6EJ_x H}{l^3} \right) u + \left( \frac{ql}{2} + \frac{12EJ_x H}{l^3} \right) \frac{u^2}{2} - \frac{qu^3}{6},$$

$$EJ_x y(u) = \left( -\frac{ql}{12} + \frac{6EJ_x H}{l^3} \right) \frac{u^2}{2} + \left( \frac{ql}{2} + \frac{12EJ_x H}{l^3} \right) \frac{u^3}{6} - \frac{qu^4}{24},$$

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 роляганга:

$$l = \sqrt[4]{\frac{72EJ_x H}{q}}.$$

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

$$l = \frac{1}{\mu} \sqrt[4]{\frac{6Eh^2 H}{\gamma}}, \quad y(z) = H \left( 1 - \mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right)^3 \left( 1 + 3\mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right),$$

$$\frac{dy(z)}{dz} = -12H\mu^2 z \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \left( 1 - \mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right)^2,$$

$$\frac{d^2 y(z)}{dz^2} = -12H\mu^2 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \left( 1 - \mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right) \left( 1 - 3\mu z^4 \sqrt{\frac{\gamma}{6Eh^2 H}} \right).$$

Радиус кривизны листа в продольном направлении равен

$$\rho(z) = \frac{\left( 1 + \left( \frac{dy(z)}{dz} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 y(z)}{dz^2}}.$$

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

Остаточные продольные пластические деформации, приводящие к появлению гофра, будут возникать, если нормальные напряжения в продольном направлении листа достигнут предела текучести  $\sigma_T$ :  $\rho \leq \rho_{\text{упр}} = (H_{\text{эв}} + h/2)E/\sigma_T^*$ . Поэтому критерий возникновения гофра в продольном направлении листовой заготовки на КГП имеет вид

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

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

*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 пятироlikовой листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироlikовой 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 пятнадцатироlikовой листопрямляющей 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 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. Шестироlikовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.
15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироlikовой ли-

стоправильной 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 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 девятироlikовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироlikовой 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 двенадцатироlikовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 97-106.
63. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров двенадцатироlikовой листопрямительной машины при правке стального листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 8-1. С. 106-114.
64. Шинкин В.Н. Шестироlikовая листопрямительная машина. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 9-1. С. 61-68.
65. Шинкин В.Н. Шестироlikовая 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 пятироlikовой 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 девятироlikовой 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 одиннадцатироlikовой 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 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 пятнадцатироlikовой 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 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 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.

# НЕПРОВАР ПРОДОЛЬНОГО СВАРНОГО ШВА СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ

*Хоркин В.Н.*

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

Получен критерий упругопластического разрушения магистральной трубы при несплавлении внешней фаски сварного шва.

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

**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 К65 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 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, используемые российскими заводами – АО «ВМЗ», ЗАО «ИТЗ», ОАО «ЧТПЗ», а также заводами Германии и Китая.

Схема JCOE 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 О-профиля.

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 прессы 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].

**Прочностной анализ разрушения труб при частичном несплавлении сварного шва.** Пусть  $D$ ,  $h$  и  $\Delta$  – внешний диаметр трубы, толщина стенки трубы ( $h \ll D$ ) и глубина несплавления сварного соединения на внутрен-

ней 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  $\sigma_v$ .

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

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

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

**Пример разрушения трубы.** На рис. 1–3 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. 1. Разрыв трубы после гидроиспытаний при непроваре сварного шва



Рис. 2. Вид сбоку разрыва трубы



Рис. 3. Разрыв трубы

### **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>.

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>.

**Основные причины аварий магистральных трубопроводов. Сред-**

нее 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%).

*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 листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344-349.
8. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироlikовой 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 пятнадцатироlikовой листопрямляющей 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 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. Шестироlikовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямляющей машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205-211.
14. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222-227.

15. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261-265.
16. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318-323.
17. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231-237.
18. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238-243.
19. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88-93.
20. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с риской» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213-225.
21. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «донышками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268-276.
22. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямляющей машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228-237.
23. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171-174.
24. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110-112.
25. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54-58.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14-22.
27. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69-74.
28. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53-56.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45-49.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12-19.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77-81.
32. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61-66.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528-531.
34. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14-16.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25-29.

36. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21-26.
37. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте «раскатной пригар с рисккой» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19-24.
38. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11-12. P. 833-840.
39. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3-1. С. 64-67.
40. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4-1. С. 114-119.
41. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5-1. С. 96-99.
42. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6-1. С. 115-118.
43. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7-1. С. 74-78.
44. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8-1. С. 78-83.
45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9-1. С. 73-77.
46. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10-1. С. 153-157.
47. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 252-257.
48. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11-1. С. 257-262.
49. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатирولیковой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 246-251.
50. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12-2. С. 251-258.
51. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса

- при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой 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 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 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 Agrasate // 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 Agrasate // 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 ма-

гистральных газонептепроводов 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 // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 7-2. С. 115-124.

вильной 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.

## **РИСКА НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ**

*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 риска 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 риска, 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.

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 разру-

шение 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].

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



Рис. 1. Исследование дефекта риска на поверхности трубы с помощью аппаратуры

**Критерий упругопластического разрыва трубы при внутреннем давлении и дефекте риска.** *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.

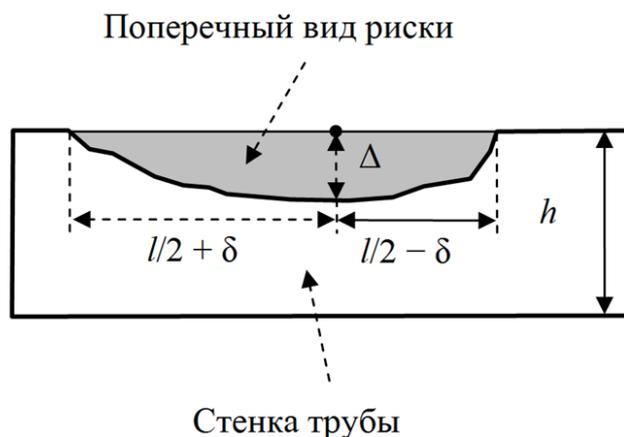


Рис. 2. Дефект риска на поверхности трубы

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.

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

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

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  $p_{sh}^{критич} = 12,15$  МПа. При  $\mu = 1$ ,  $\sigma_b = 684$  МПа,  $D = 1220$  мм,  $h = 19$  мм,  $\Delta = 0$  мм (труба без царапины) критическое давление трубы  $p_{sh}^{критич} = 20,66$  МПа. Таким образом, маленькая риска глубиной 0,4 мм уменьшает прочность стальной трубы с толщиной стенки 19 мм в 1,7 раза.

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

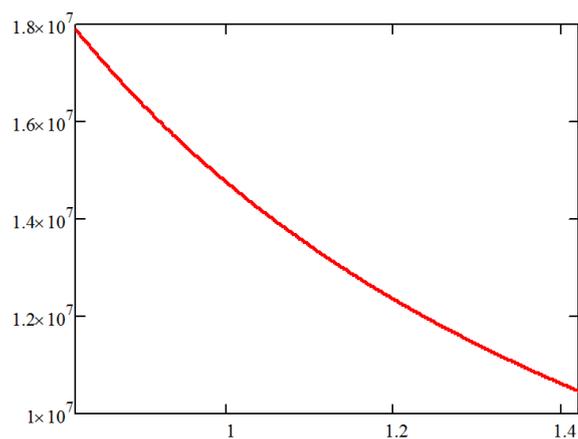


Рис. 3. Зависимость  $p_{sh}^{критич}$  (Па) от диаметра трубы  $D$  (м)

*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 «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 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 листопрямляющей машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2-2. С. 134-141.
52. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 139-145.
53. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса

- при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3-1. С. 145-151.
54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 159-165.
55. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 165-171.
56. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 134-141.
57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 141-149.
58. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 167-174.
59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. С. 174-181.
60. Шинкин В.Н. Кривизна листа при упругопластической правке стального листа на девятироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-1. С. 95-102.
61. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров девятироликовой 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.

## **АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПРИСАДКИ ДЛЯ НЕФТИ QUICKFLOW**

***Цзоция Си***

технический руководитель, Sino Oil King Shine Chemical Co., Ltd,  
Китай, г. Хэбэй

***Синьюань Ли***

главный технолог, Sino Oil King Shine Chemical Co., Ltd,  
Китай, г. Хэбэй

В статье рассматривается проблема предупреждения асфальтосмолопарафиновых отложений на технологическом оборудовании и трубопроводах. Показана эффективность антифрикционных присадок QUICKFLOW-C и QUICKFLOW-R.

*Ключевые слова:* асфальтосмолопарафиновые отложения, антифрикционных присадок.

Отложения асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) на технологическом оборудовании и трубопроводах существенно снижают эффективность процессов добычи, первичной подготовки и транспортировки нефти. Эта проблема усугубляется при низких температурах, что характерно для России холодная климатическая зона которой занимает около 80% территории страны. Одним из способов профилактики АСПО является введение в поток нефти присадок: депрессоров, модификаторов структуры, диспергаторов, ингибиторов парафиноотложений [1-3].

Компания Sino Oil King Shine Chemical Co., Ltd (представитель компании на территории Таможенного союза – ООО «НЕФТЕГАЗОПРОВОДНОЕ УПРАВЛЕНИЕ», г. Москва) предлагает российским предприятиям антифрикционные присадки QUICKFLOW-C и QUICKFLOW-R, показавшие высокую эффективность на нефти месторождений Лаоцзюньмяо, Бочжун и Вэйчжоу в Китае. Так, при перекачке нефти по трубопроводу, загрязнённому АСПО, давление составляло 4,56 МПа (45,6 атм.). После введения в нефть

присадки QUICKFLOW-R в количестве 150 г/т через 14 ч давление снизилось до 3,8 МПа. Увеличение концентрации присадки до 200 г/т привело через 26 ч к снижению давления до 2,7 МПа. При этом температура застывания нефти снизилась с 10 до 2 °С.

Показательны результаты применения присадки QUICKFLOW-R в смеси высокопарафинистых нефтей Бочжунского и Вэйчжоуского месторождений в сентябре-октябре 2010 г. Присадку вводили в нефть на месте сбора, нефть транспортировали по трубопроводу длиной 114 км до места погрузки в цистерны и нефть в цистернах следовала в течение 7-10 суток до нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) восточной провинции Шаньдун. После возврата цистерн в пункт отправки замеряли неслившийся остаток на дне цистерны. Под загрузку нефтью подавались цистерны разной степени чистоты: пропаренные с нулевым остатком и неочищенные от остатка после прежнего залива нефти. Остаток по составу и свойствам отличался от исходной нефти и представлял собой продукт с температурой плавления около 70°С, обогащенный АСПО. Были проведены замеры на 271 пропаренной цистернах и 422 цистернах с остатком и получены следующие результаты.

По цистернам с остатком суммарная масса несливаемого остатка от прежней загрузки нефти в цистернах составила 489,7 м<sup>3</sup> или 1,16 м<sup>3</sup> на 1 цистерну. Фактически это остаток от слива нефти без присадки. После загрузки нефти с присадкой в эти цистерны, транспортировки и слива количество суммарного остатка в цистернах составило 427,0 м<sup>3</sup> (1,01 м<sup>3</sup> на цистерну). Разница в 0,15 м<sup>3</sup> /цистерну фактически представляет собой количество остатка, отмытого при помощи присадки. По пропаренным цистернам количество суммарного остатка после слива нефти с присадкой QUICKFLOW-R составило 134,9 м<sup>3</sup> или 0,5 м<sup>3</sup>/цистерну. Таким образом, применение присадки QUICKFLOW-R позволило более, чем вдвое снизить количество несливаемого остатка при транспортировке высокопарафинистой нефти.

В таблице приведены результаты исследования влияния присадки QUICKFLOW-C на реологические характеристики нефти (в числителе – без присадки, в знаменателе – с 0,05% присадки) при различной температуре (*t*). Из этих данных следует, что присадка QUICKFLOW-C на порядок улучшает динамические характеристики нефти, ее введение эквивалентно нагреву сырой нефти на несколько градусов.

Таблица

**Влияние присадки QUICKFLOW-C на реологические характеристики сырой нефти**

Нефть	Напряжение сдвига, Па		Пластическая вязкость, Па×с
	начальное	предельное	
Северных магистральных нефтепроводов ( <i>t</i> = +10°С)	22,8 / 2,3	1,3 / 0	0,224 / 0,077
Прикаспийского месторождения ( <i>t</i> = +25°С)	26,6 / 2,2	9,6 / 0,2	0,096 / 0,033
Западно-Сынатыского месторождения ( <i>t</i> = +10°С)	11,5 / 0	2,4 / 0	0,067 / 0,021

Таким образом, применение антифрикционной присадки для сырой нефти QUICKFLOW-C позволяет: снизить рабочее давление перекачки; исключить подогрев нефти и, соответственно, трубопровода; предотвратить забивку трубопровода парафинами при его временной остановке.

Безопасное обращение антифрикционных присадок QUICKFLOW-R и QUICKFLOW-C на производстве достигается выполнением требований законодательства безопасности труда, промышленной и экологической безопасности [1, 4], в частности наличием паспортов безопасности химической продукции и сертификатов соответствия Системы ТЭКСЕРТ.

#### **Список литературы**

1. Балаба В.И., Дунюшкин И.И., Павленко В.П. Безопасность технологических процессов добычи нефти и газа: Учебное пособие. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 477 с.
2. Ибрагимов Н.Г., Хафизов А.Р., Шайдаков В.В. и др. Осложнения в нефтедобыче. – Уфа: Монография, 2003. – 302 с.
3. Марьин В.И., Акчурин В.А., Демахин А.Г. Химические методы удаления и предотвращения образования АСПО при добыче нефти: аналитический обзор. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2001. – 156 с.
4. Зинченко О.Д. Экологические аспекты конкурентоспособности в нефтегазовом комплексе / Современные тенденции в науке и образовании. Сб. научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Часть III. – М.: ООО «АР-Консалт», 2015. – С. 113-115.

## **КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ДВУХПОТОЧНЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ**

***Шаринов В.М.***

советник ректората по научной работе, д-р техн. наук, профессор,  
Московский политехнический университет, Россия, г. Москва

***Щетинин Ю.С.***

профессор кафедры «Наземные транспортные средства», канд. техн. наук,  
профессор, Московский политехнический университет, Россия, г. Москва

***Есеновский-Лаишков М.Ю.***

заместитель заведующего кафедрой «Наземные транспортные средства»,  
канд. техн. наук, доцент, Московский политехнический университет,  
Россия, г. Москва

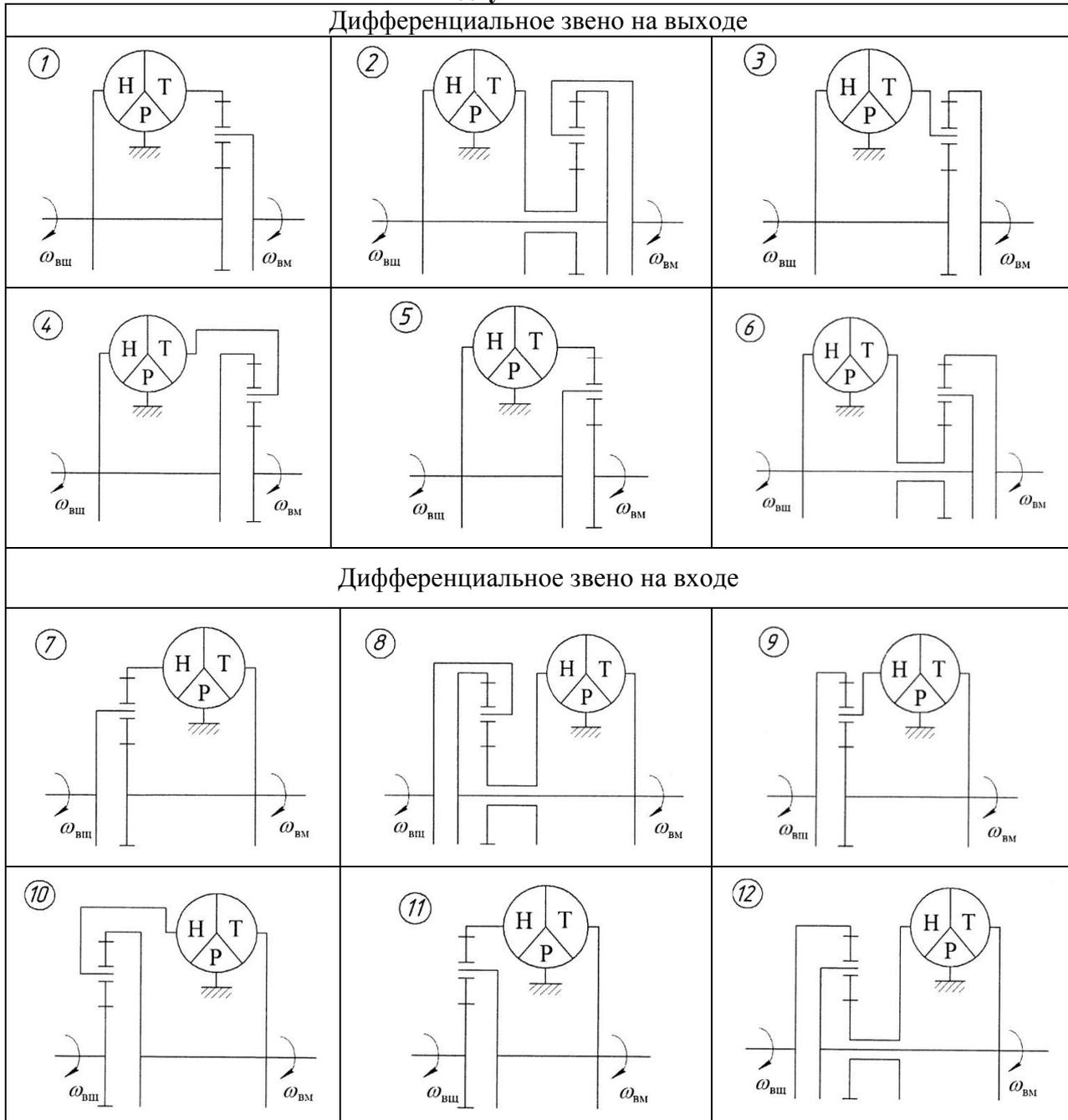
Приведены результаты кинематического анализа всех возможных схем двухпоточных гидромеханических передач с дифференциальным звеном, выполненным в виде трехзвенного дифференциального механизма со смешанным зацеплением зубчатых колес. Рассмотрена работа этих передач на различных режимах.

*Ключевые слова:* двухпоточная гидромеханическая передача; гидротрансформатор; трехзвенный дифференциальный механизм; анализ работы.

Применение двухпоточных гидромеханических передач (ГМП) в трансмиссиях современных автомобилей и тракторов позволяет повысить максимальный коэффициент полезного действия (КПД) передачи. В табл. 1 приведены 12 возможных схем двухпоточных ГМП с дифференциальным звеном, выполненным в виде трехзвенного дифференциального механизма (ТДМ) со смешанным зацеплением зубчатых колес [1].

Таблица 1

Схемы двухпоточных ГМП



В зависимости от принятой схемы изменяются основные параметры двухпоточной ГМП (КПД, коэффициент трансформации, прозрачность) [2, 3]. Выбор схемы двухпоточной ГМП сказывается также на величине и направлении угловых скоростей вращения ее звеньев. В результате при реализации некоторых режимов гидротрансформатор или комплексная гидроди-

намическая передача (ГТ) будут работать в нехарактерных для их функционирования условиях.

Кинематический анализ работы двухпоточной ГМП с использованием наиболее распространенной схемы 1 (см. табл. 1) подробно рассмотрен в работах [2, 3].

При кинематическом анализе других схем двухпоточных ГМП приняты следующие обозначения:  $\omega_{вщ}$  и  $\omega_{вм}$  – угловая скорость соответственно ведущего и ведомого валов ГМП;  $u_{гмп} = \omega_{вщ}/\omega_{вм}$  – передаточное число ГМП;  $\omega_{н}$  и  $\omega_{т}$  – угловая скорость соответственно насосного и турбинного колес ГТ;  $u_{гт} = \omega_{н}/\omega_{т}$  – передаточное число ГТ;  $\omega_a$ ,  $\omega_c$ ,  $\omega_b$  и  $\omega_{B_o}$  – угловая скорость соответственно солнечной и эпициклической шестерен, водила и сателлита ТДМ;  $k = Z_c/Z_a$  – характеристика планетарного ряда ( $Z_c$  и  $Z_a$  – число зубьев соответственно эпициклической и солнечной шестерен планетарного ряда).

Кинематический анализ двухпоточных ГМП проводился с использованием следующих зависимостей [1]:

$$\omega_a + k \omega_c - (1 + k)\omega_b = 0; \omega_{B_o} = -(\omega_a - \omega_b) \frac{2}{k-1};$$

$$\omega_{B_o} = (\omega_c - \omega_b) \frac{2k}{k-1}; \omega_{B_o} = (\omega_a - \omega_c) \frac{2k}{k^2-1}.$$

Работа двухпоточной ГМП рассматривалась при  $1/u_{гмп} = 0 \dots 1$ , то есть от стопового режима до режима прямого хода. При этом из конструктивных соображений принято, что характеристика планетарного ряда  $k = 1,5 \dots 5$  [1].

В табл. 2 представлены результаты расчетов, позволяющие определить режим работы ГТ при всех возможных вариантах его включения в схему двухпоточной ГМП. Характер изменения угловых скоростей насосного и турбинного колес ГТ при характеристике планетарного ряда  $k = 2$  представлен на рис. 1. Здесь и далее цифрами обозначены номера схем, а  $\hat{\omega}_i = \omega_i/\omega_{вщ}$  – относительная угловая скорость  $i$ -го звена.

Для схем 1-6 с дифференциальным звеном на выходе (см. табл. 1) насосное колесо ГТ всегда вращается со скоростью ведущего вала, а  $\hat{\omega}_т = 1/u_{гт}$ . На рис. 1 для этих схем представлены зависимости относительной угловой скорости  $\hat{\omega}_т$  турбинного колеса от параметра  $1/u_{гмп}$ . Для схем 7-12 с дифференциальным звеном на входе (см. табл. 1) турбинное колесо ГТ вращается с угловой скоростью ведомого вала. Для этих схем на рис. 1 даны зависимости изменения относительной угловой скорости  $\hat{\omega}_н$  насосного колеса. При этом в схемах 1 и 2 возможен режим, когда турбинное колесо будет вращаться в сторону противоположную вращению насосного колеса. Для схемы 1 это произойдет левее точки А, а для схемы 2 – левее точки В. В точках А и В турбина остановлена и  $1/u_{гт} = 0$ . В схемах 3 и 4 диапазон изменения передаточного числа ГТ не выходит за пределы его нормальной работы ( $0 \leq 1/u_{гт} \leq 1$ ), однако он используется не полностью.

Режимы работы ГТ в двухпоточной ГМП

Схема ГМП	Диапазон работы ГМП			Диапазон работы ГТ
	Противовращение турбины, $1/u_{ГТ} < 0$	Турбина обгоняет насос, $1/u_{ГТ} > 1$	Противовращение насоса, $\omega_H < 0$	
1	$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq \frac{1}{k+1}$			$-\frac{1}{k} \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
2	$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq \frac{k}{k+1}$			$-k \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
3				$\frac{1}{k+1} \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
4				$\frac{k}{k+1} \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
5		$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq 1$		$1 \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq \frac{k+1}{k}$
6		$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq 1$		$1 \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq k+1$
7				$0 \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
8				$0 \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
9				$0 \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
10				$0 \leq \frac{1}{u_{ГТ}} \leq 1$
11		$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq 1$	$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq \frac{1}{k+1}$	$-\infty < u_{ГТ} \leq 1$
12		$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq 1$	$0 \leq \frac{1}{u_{ГМП}} \leq \frac{k}{k+1}$	$-\infty < u_{ГТ} \leq 1$

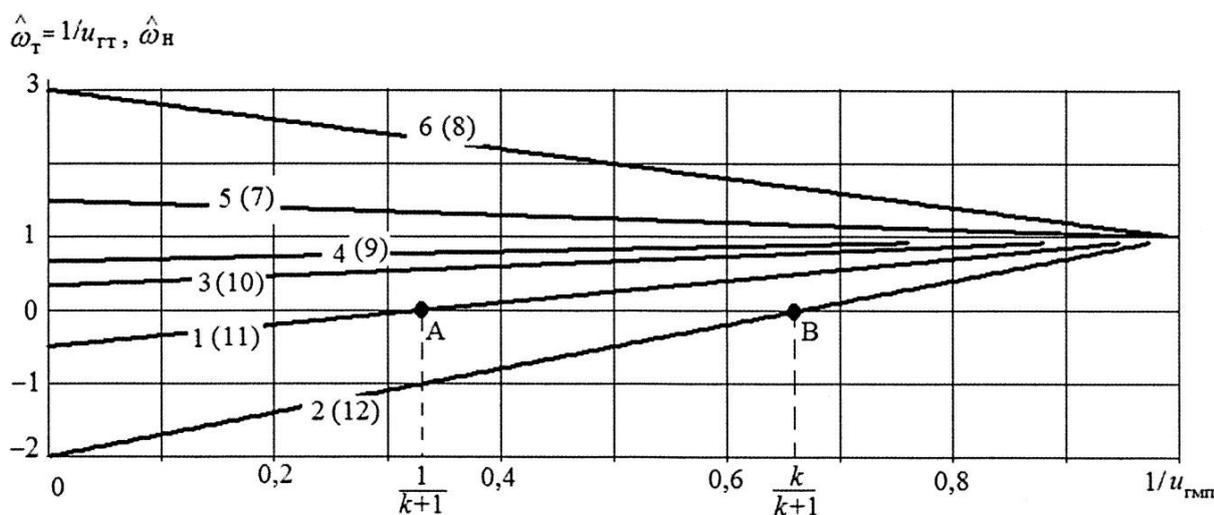


Рис. 1. Изменение относительной угловой скорости насосного и турбинного колес ГТ в зависимости от режима работы двухпоточной ГМП при характеристике планетарного ряда  $k=2$

В схемах 5 и 6 турбинное колесо всегда будет обгонять насосное колесо. При этом максимальная скорость вращения турбины соответствует стоповому режиму. В схемах 7 и 8 насосное колесо всегда обгоняет ведущий вал и достигает максимальной скорости в стоповом режиме. При использовании схем 9 и 10 насосное колесо вращается медленнее ведущего вала, но в ту же сторону. С уменьшением параметра  $1/u_{ГМП}$  угловая скорость насосного колеса уменьшается. В схемах 11 и 12 возможен режим противовращения насосного колеса (в зоне, левее точек соответственно А и В).

Возможность работы ГТ в нестандартном режиме ( $1/u_{ГТ} < 0$ ,  $1/u_{ГТ} > 1$ ,  $\omega_n < 0$ ) может вызвать серьезные затруднения при проектировании двухпоточной ГМП. К настоящему моменту мы не располагаем экспериментальными данными, позволяющими судить о внешней характеристике ГТ, работающего в области отрицательных значений  $1/u_{ГТ}$ , в области, когда турбина обгоняет насосное колесо и когда насосное колесо вращается в противоположную сторону по отношению к реактору. Теоретически прогнозировать изменение значений коэффициента трансформации и коэффициента момента насосного колеса ГТ при работе в этих режимах также проблематично. Кроме того, параметры внешней характеристики ГТ зависят от угловой скорости насосного колеса.

Характеристика  $k$  планетарного ряда оказывает существенное влияние на величину относительных угловых скоростей насосного и турбинного колес, а значит и на диапазон работы ГТ. Так как представленные на рис. 1 зависимости линейны и все графики выходят из точки с координатами (1;1), то для оценки границ диапазона работы ГТ достаточно исследовать стоповый режим. На рис. 2 приведены графики изменения относительных угловых скоростей турбинного колеса (для схем 1-6) и насосного колеса (для схем 7-12) при работе в стоповом режиме ( $1/u_{ГМП} = 0$ ) при различных значениях  $k = 1,5 \dots 5$ . В схемах 1 и 2 возможен режим, когда турбинное колесо будет вращаться в сторону противоположную вращению насосного колеса. В схеме 1 это может произойти при  $1/u_{ГМП} = 0,4$  ( $k = 1,5$ ). В стоповом режиме (выходной вал остановлен) будем иметь  $1/u_{ГТ0} = -0,67$ . В схеме 2 в лучшем случае ( $k = 1,5$ ) турбина ГТ перейдет в режим противовращения при  $1/u_{ГМП} = 0,6$  а  $1/u_{ГТ0} = -1,5$ . В худшем случае ( $k = 5$ ) практически во всем диапазоне работы ГМП ( $1/u_{ГМП} < 0,83$ ) будет наблюдаться противовращение турбины, а  $1/u_{ГТ0} = -5$ .

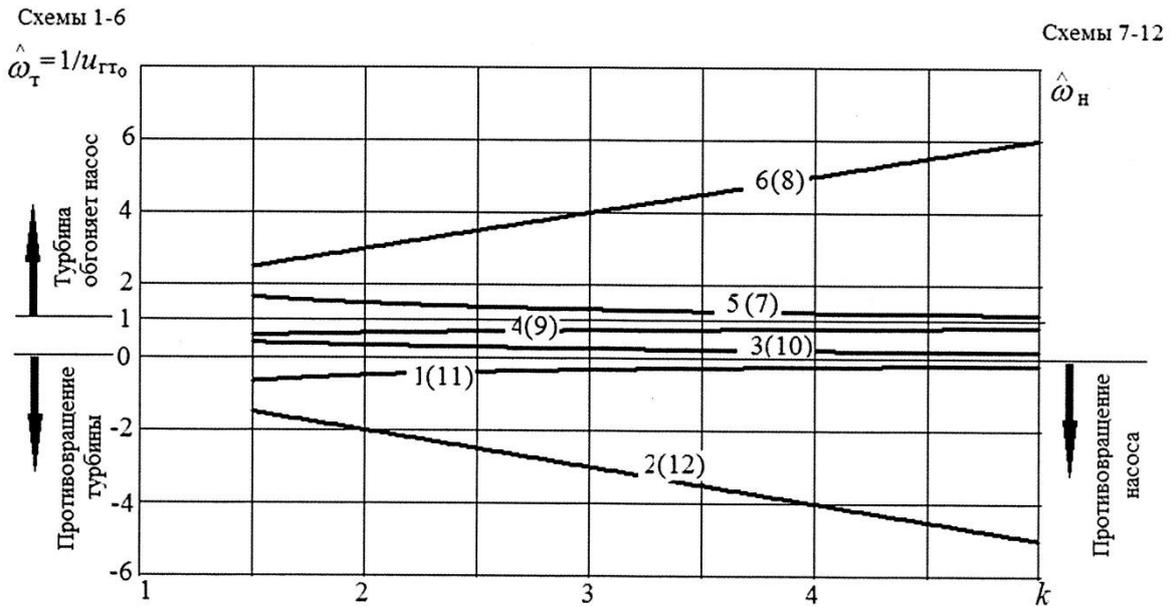


Рис. 2. Зависимость относительной угловой скорости насосного и турбинного колес ГТ от характеристики  $k$  планетарного ряда для стопового режима работы

В схемах 3, 4, 7, 8, 9 и 10 диапазон изменения передаточного числа гидротрансформатора не выходит за пределы его нормальной работы ( $0 \leq 1/u_{ГТ} \leq 1$ ). Однако в схемах 3 и 4 диапазон используется не полностью. Для схемы 3 при  $k = 5$  имеем левую границу используемого диапазона  $1/u_{ГТmin} = 0,17$ , а при  $k = 1,5$  параметр  $1/u_{ГТmin} = 0,4$ . Для схемы 4 диапазон еще уже:  $1/u_{ГТmin} = 0,6$  (при  $k = 1,5$ ) и  $1/u_{ГТmin} = 0,83$  (при  $k = 5$ ).

При использовании схем 5 и 6 турбина всегда будет обгонять насосное колесо. В этих схемах правая граница диапазона работы ГТ соответствует стоповому режиму. Для схемы 5 ее значение изменяется от  $1/u_{ГТmax} = 1,2$  (для  $k = 5$ ) до  $1/u_{ГТmax} = 1,67$  (для  $k = 1,5$ ). Для схемы 6 при  $k = 1,5$  будем иметь  $1/u_{ГТmax} = 2,5$ , а при  $k = 5$   $1/u_{ГТmax} = 6$ . Левая граница для этих схем соответствует  $1/u_{ГТ} = 1$ .

В табл. 3 приведены зависимости, позволяющие оценить угловые скорости вращения звеньев планетарного ряда для всех возможных схем ГМП.

Таблица 3

Угловые скорости вращения звеньев планетарного ряда

Схема ГМП	$u_{ГМП}$	$\hat{\omega}_a$	$\hat{\omega}_c$	$\hat{\omega}_B$	$\hat{\omega}_{B_0}$
1	2	3	4	5	6
1	$\frac{1+k}{1+k/u_{ГТ}}$	1	$\frac{1}{k} \left( \frac{1+k}{u_{ГМП}} - 1 \right)$	$1/u_{ГМП}$	$\frac{2(1-1/u_{ГМП})}{1-k}$
2	$\frac{(1+k)u_{ГТ}}{ku_{ГТ}+1}$	$\frac{1+k}{u_{ГМП}} - k$	1	$1/u_{ГМП}$	$\frac{2k(1-1/u_{ГМП})}{k-1}$
3	$\frac{ku_{ГТ}}{1+k-u_{ГТ}}$	1	$1/u_{ГМП}$	$\frac{1+ku_{ГМП}}{1+k}$	$\frac{2k(1/u_{ГМП}-1)}{k^2-1}$

1	2	3	4	5	6
4	$\frac{u_{ГТ}}{1+k-ku_{ГТ}}$	$1/u_{ГМП}$	1	$\frac{1/u_{ГМП}+k}{1+k}$	$\frac{2k(1-1/u_{ГМП})}{k^2-1}$
5	$\frac{1}{1+k-k/u_{ГТ}}$	$1/u_{ГМП}$	$\frac{1+k-1/u_{ГМП}}{k}$	1	$\frac{2(1-1/u_{ГМП})}{k-1}$
6	$\frac{ku_{ГТ}}{ku_{ГТ}+u_{ГТ}-1}$	$1+k-k/u_{ГМП}$	$1/u_{ГМП}$	1	$\frac{2k(1/u_{ГМП}-1)}{k-1}$
7	$\frac{ku_{ГТ}+1}{1+k}$	$1/u_{ГМП}$	$\frac{1+k-1/u_{ГМП}}{k}$	1	$\frac{2(1-1/u_{ГМП})}{k-1}$
8	$\frac{u_{ГТ}+k}{1+k}$	$1+k-k/u_{ГМП}$	$1/u_{ГМП}$	1	$\frac{2k(1/u_{ГМП}-1)}{k-1}$
9	$\frac{(1+k)u_{ГТ}-1}{k}$	$1/u_{ГМП}$	1	$\frac{1/u_{ГМП}+k}{1+k}$	$\frac{2k(1-1/u_{ГМП})}{k^2-1}$
10	$(1+k)u_{ГТ}-k$	1	$1/u_{ГМП}$	$\frac{1+ku_{ГМП}}{1+k}$	$\frac{2k(1/u_{ГМП}-1)}{k^2-1}$
11	$1+k-ku_{ГТ}$	1	$\frac{1}{k}\left(\frac{1+k}{u_{ГМП}}-1\right)$	$1/u_{ГМП}$	$\frac{2(1-1/u_{ГМП})}{1-k}$
12	$\frac{1+k-u_{ГТ}}{k}$	$\frac{1+k}{u_{ГМП}}-k$	1	$1/u_{ГМП}$	$\frac{2k(1-1/u_{ГМП})}{k-1}$

Установлено, что при использовании схем 2, 6, 8 и 12 возникнут трудности при проектировании подшипниковых опор, так как для любого значения характеристики  $k$  планетарного ряда значения угловых скоростей либо сателлитов, либо солнечной шестерни превысят пределы возможной работы для подшипников качения. У схем 1, 5, 7 и 11 угловые скорости звеньев значительно меньше, чем в предыдущем случае, но и здесь угловая скорость сателлитов при малых значениях характеристики  $k$  планетарного ряда может выйти за допустимые пределы. В схемах 3, 4, 9 и 10 угловые скорости всех звеньев не превышают угловой скорости ведущего звена, а угловая скорость сателлитов лежит в допустимых пределах для работы подшипников.

#### Выводы

1. При использовании схем 3, 4, 7, 8, 9 и 10 во всем рабочем скоростном диапазоне двухпоточной ГМП ( $0 \leq 1/u_{ГМП} \leq 1$ ) ГТ работает в нормальном режиме. При этом в схемах 7, 8, 9 и 10 рабочий скоростной диапазон ГТ используется полностью, а в схемах 3 и 4 частично. При использовании остальных схем ГТ работает в нетипичных для него условиях.

2. При использовании схем 3, 4, 9 и 10 угловые скорости центральных звеньев ТДМ относительно малы и не превышают скорости ведущего звена, а угловая скорость сателлитов находится в пределах допустимых значений.

3. В схемах 1, 5, 7 и 11 угловая скорость сателлитов при малых значениях характеристики  $k$  планетарного ряда может выйти за пределы значений,

обеспечивающих нормальную работу подшипников качения, а угловые скорости основных звеньев планетарного ряда лежат в допустимых пределах.

4. В схемах 2, 6, 8 и 12 угловые скорости либо солнечной шестерни (при больших значениях  $k$ ), либо сателлитов (при малых значениях  $k$ ) всегда превышают допустимые пределы.

#### Список литературы

1. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
2. Котиев Г.О., Шарипов В.М., Щетинин Ю.С., Вязников М.В., Гаев С.В., Розеноер М.Г. Конструирование и расчет двухпоточных гидромеханических передач // Известия МГТУ «МАМИ». 2015. № 4(26). Т. 1. С. 31-42.
3. Шарипов В.М., Котиев Г.О., Щетинин Ю.С., Вязников М.В., Гаев С.В., Розеноер М.Г. К вопросу о выборе параметров двухпоточной гидромеханической передачи для промышленных и лесопромышленных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 3. С. 8-14.

## ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СЕМИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ

*Шинкин В.Н.*

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

Предложен приближенный метод расчета технологических параметров холодной правки стального листа на семироликовой листопрямительной машине. Расчеты позволяют определить вид и кривизну нейтральной линии стального листа при правке. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах по производству стального листа.

*Ключевые слова:* стальной лист, кривизна листа, листопрямительные машины, рабочие ролики, упругопластическая непрерывная среда.

**Введение.** Правка стального листа осуществляется семью приводными рабочими правильными роликами – тремя верхними правильными роликами и четырьмя нижними правильными роликами. Правильные ролики снабжены отдельными системами настройки их вертикального положения с помощью клиновых пар и гидроцилиндров с позиционным управлением [1–7].

**Математическая модель правки листа на семироликовой машине.** Пусть  $t$  – шаг между нижними правильными роликами;  $H_i$  – величина обжатия срединной поверхности стального листа на  $i$ -ом правильном ролике (для нижних роликов положительным направлением обжатия считается направление вверх, для верхних роликов – вниз),  $h$  и  $b$  – толщина и ширина стального листа,  $R$  – радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ;  $\sigma_T$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – предел текучести стали, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа

в точках касания листа с рабочими роликами,  $\varphi_i$  – углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 7$ ) (рис. 1).

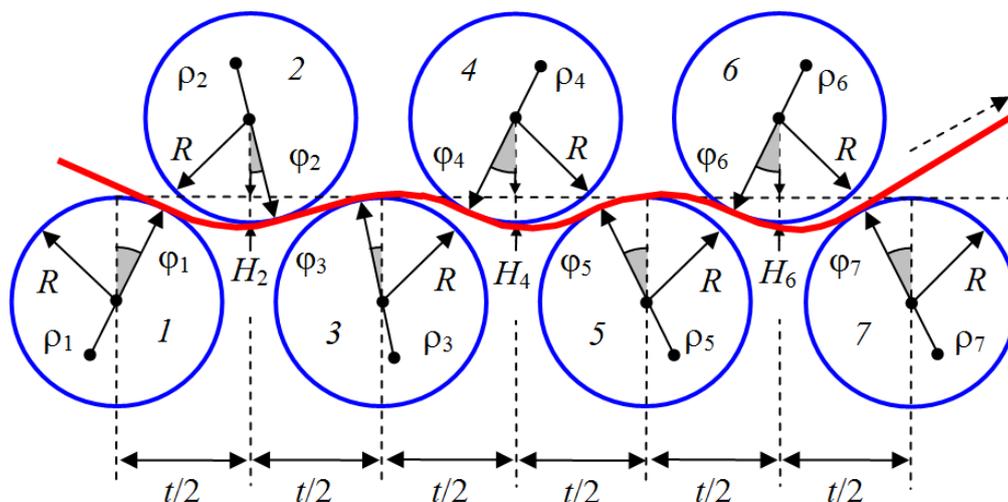


Рис. 1. Правка стального листа между семью рабочими роликами

Не ограничивая общности, далее мы будем считать, что нижние правильные (нечетные) ролики лежат на одном горизонтальном уровне ( $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = 0$  м).

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

При пластическом изгибе ( $\rho < \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ ) коэффициент пружинения стального листа [3, 6]

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

При пластическом изгибе стального листа изгибающий момент равен [3, 6]

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

где  $b$  – ширина листа.

При упругом изгибе стального листа изгибающий момент равен [1–7]

$$M(\rho) = \frac{bh^3E}{12\rho}$$

Приближенное значение угла  $\varphi_1$  находим из уравнения

$$\left[-6(H_2 - R_0(1 - \cos\varphi_1)) + 4\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_1\right) \operatorname{tg}\varphi_1\right] \cos^3\varphi_1 = \frac{\left(\frac{t}{2} - R_0 \sin\varphi_1\right)^2}{\rho_1}$$

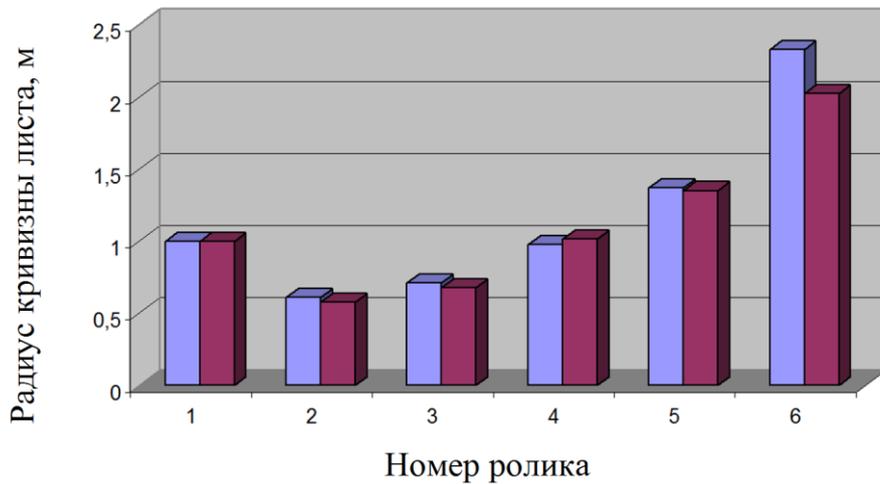


Рис. 2. Радиус кривизны листа при правке

Остальные углы касания листа правильными роликами машины имеют малые значения (до  $1^\circ-3^\circ$ ). Поэтому мы можем положить их равными нулю:

$$\varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4 = \varphi_5 = \varphi_6 = \varphi_7 = 0.$$

Зная угол  $\varphi_1$ , находим приближенное значение радиуса кривизны  $\rho_2$ :

$$\rho_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 \right)^2}{6(H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1)) - 2 \left( \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 \right) \operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{t^2}{24H_2} \right).$$

Приближенные значения радиусов кривизны  $\rho_3$ ,  $\rho_4$ ,  $\rho_5$  и  $\rho_6$  равны

$$\rho_3 = -\frac{t^2}{12(H_2 + H_4)}, \quad \rho_4 = \frac{t^2}{24H_4}, \quad \rho_5 = -\frac{t^2}{12(H_4 + H_6)}, \quad \rho_6 = \frac{t^2}{24H_6}.$$

Приближенное значение радиуса кривизны  $\rho_7$  равно

$$\rho_7 = \beta(\rho_6) \rho_6.$$

*Замечание.* Для приближенного вычисления радиуса кривизны  $\rho_2$  можно выбрать более простое выражение

$$\rho_2 = \rho_2^* = \frac{t^2}{24H_2}.$$

Однако точность вычисления  $\rho_2$  при этом падает на 20%–35%.

При небольшом обжатии  $H_2$  угол  $\varphi_1$  можно положить равным нулю ( $\varphi_1 = \varphi_1^* = 0$ ).

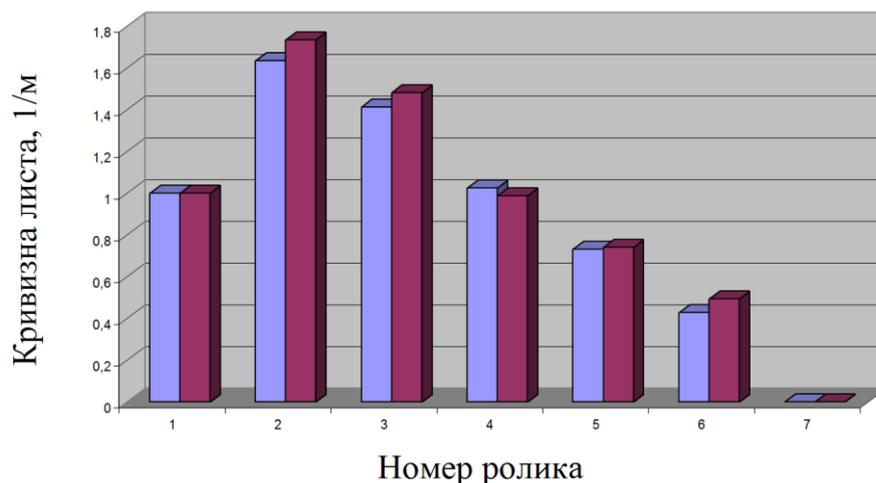


Рис. 3. Кривизна листа при правке

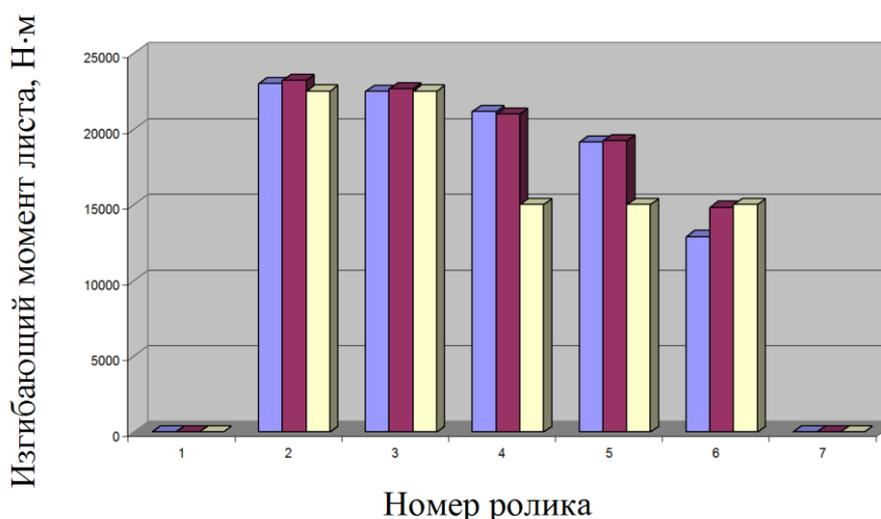


Рис. 4. Изгибающий момент при правке

**Результаты расчетов.** Решая систему уравнений при  $t = 0,27$  м,  $R = 0,125$  м,  $h = 0,010$  м,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = 0$  м,  $H_2 = 0,006$  м,  $H_4 = 0,003$  м,  $H_6 = 0,0015$  м и  $\rho_1 = -1$  м, получаем  $\rho_2 = 0,577$  м,  $\rho_3 = -0,675$  м,  $\rho_4 = 1,0125$  м,  $\rho_5 = -1,35$  м,  $\rho_6 = 2,025$  м,  $\rho_7 > 100$  м,  $\varphi_1 = 2,029^\circ$ ,  $\varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4 = \varphi_5 = \varphi_6 = \varphi_7 = 0^\circ$ ,  $\varepsilon_1 = -1$  м<sup>-1</sup>,  $\varepsilon_2 = 1,734$  м<sup>-1</sup>,  $\varepsilon_3 = -1,481$  м<sup>-1</sup>,  $\varepsilon_4 = 0,988$  м<sup>-1</sup>,  $\varepsilon_5 = -0,741$  м<sup>-1</sup>,  $\varepsilon_6 = 0,494$  м<sup>-1</sup>,  $\varepsilon_7 = 0$  м<sup>-1</sup> (рис. 2–4).

На рис. 2 и рис. 3 левый столбец соответствует точному решению задачи [3], правый столбец соответствует приближенному решению данной работы.

На рис. 4 левый столбец соответствует точному решению задачи [3], средний столбец соответствует приближенному решению данной работы, правый столбец соответствует приближенному решению классических работ [1, 2].

#### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.

2. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.

3. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.

4. 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.

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

6. 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.

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

## **РЕАКЦИИ РАБОЧИХ РОЛИКОВ ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

***Шинкин В.Н.***

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

Предложен математический метод, позволяющий определить реакции опор рабочих роликов, долю пластической деформации по толщине листа и относительную деформацию продольных поверхностных волокон листа при правке на десятироликовой листопрямительной машине. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах.

*Ключевые слова:* остаточные напряжения, реакции опор, листопрямительная машина, рабочие ролики, упругопластическая непрерывная среда.

**Изгибающие моменты при правке стального листа.** Многороликовые листопрямительные машины широко используются при производстве стального листа в российской и зарубежной металлургической промышленности [1–6].

Пусть  $H_i$  ( $i = 1, \dots, 10$ ) – обжатия листа рабочими роликами. Не ограничивая общности далее будем считать, что нижние пять рабочих роликов неподвижны ( $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = H_9 = 0$  мм), а верхние пять рабочих роликов имеют независимые вертикальные перемещения.

Пусть  $P_p$  и  $P_c$  – модули упрочнения стали при растяжении и сжатии,  $E$  и  $\sigma_T$  – модуль Юнга и предел текучести;  $R$  – радиус рабочих роликов,  $\varphi_i$  – углы точек касания роликов и стального листа ( $i = 1 \dots 10$ ),  $t$  – шаг рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ,  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  и  $\rho_i$  – кривизна листа в точках касания с роликами и радиусы кривизны,  $h$  – толщина листа.

При пластическом изгибе ( $\rho < \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ ) стального листа изгибающий момент равен [3, 6]

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

где  $b$  – ширина листа.

При упругом изгибе ( $\rho \geq \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ ) стального листа изгибающий момент равен [1–3, 6]

$$M(\rho) = \frac{bh^3E}{12\rho}.$$

Пусть  $M_i$  – изгибающие моменты стального листа в точках касания рабочих роликов с листом:

$$\begin{aligned} M_1 &= 0, & M_2 &= M(\rho_2), & M_3 &= -M(\rho_3), & M_4 &= M(\rho_4), \\ M_5 &= -M(\rho_5), & M_6 &= M(\rho_6), & M_7 &= -M(\rho_7), \\ M_8 &= M(\rho_8), & M_9 &= -M(\rho_9), & M_{10} &= 0. \end{aligned}$$

Изгибающие моменты листа в точках касания листа с роликами при  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $R = 125$  мм,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $h = 10$  мм,  $t = 270$  мм,  $\rho_1 = -1$  м,  $b = 1,8$  м,  $H_2 = 12$  мм,  $H_4 = 6$  мм,  $H_6 = 3$  мм,  $H_8 = 1,5$  мм и  $H_{10} = -0,75$  мм показаны на рис. 1.

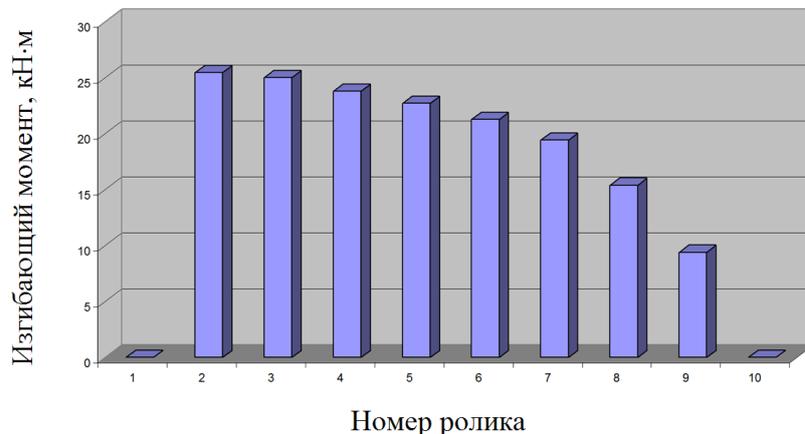


Рис. 1. Изгибающие моменты листа в точках контакта с роликами

**Вычисление силовых параметров десятироликовой правильной машины.** Пусть  $N_i$ ,  $M_{pi}$  и  $F_{pi}$  ( $F_{pi} = M_{pi}/R$ ) – соответственно реакция опоры, вращательный момент (передаваемый от редуктора) и подающее усилие  $i$ -го ролика ( $i = 1 \dots 10$ ) (рис. 2).

Построим двенадцать систем координат  $y-z$  в точках касания листа с роликами. Оси  $y$  направим по радиусу роликов к их центру, а оси  $z$  – по касательной к поверхности роликов слева направо.

Пусть  $y_{ji}$  и  $z_{ji}$  – координаты точек касания листа с  $j$ -ым роликом в  $i$ -ой системе координат.

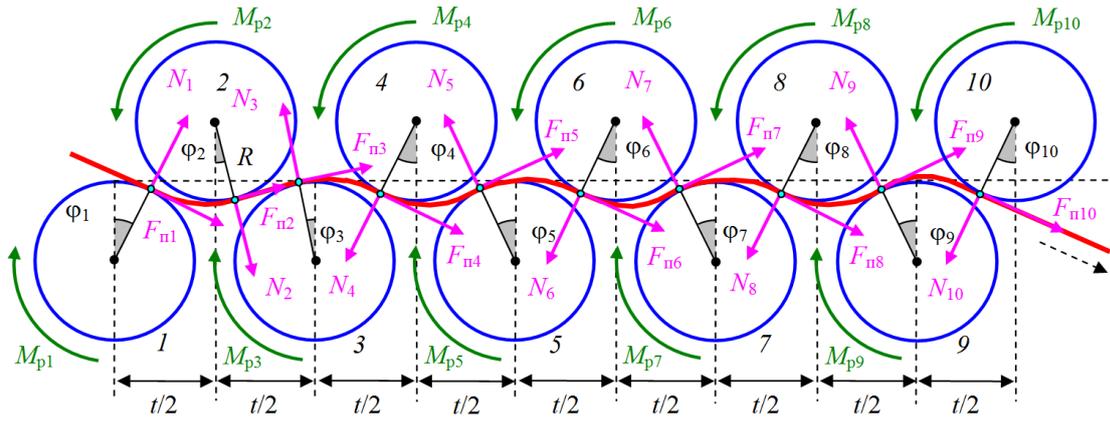


Рис. 2. Силы и моменты, действующие на стальной лист

Введем вспомогательные расстояния:

$$\Delta z_{21} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2, \quad \Delta y_{21} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2),$$

$$z_{21} = \Delta z_{21} \cos \varphi_1 + \Delta y_{21} \sin \varphi_1, \quad y_{21} = -\Delta z_{21} \sin \varphi_1 + \Delta y_{21} \cos \varphi_1,$$

$$\Delta z_{32} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3, \quad \Delta y_{32} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3),$$

$$z_{32} = \Delta z_{32} \cos \varphi_2 + \Delta y_{32} \sin \varphi_2, \quad y_{32} = -\Delta z_{32} \sin \varphi_2 + \Delta y_{32} \cos \varphi_2,$$

$$\Delta z_{j+1j} = \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_j - R_0 \sin \varphi_{j+1}, \quad j = 3, \dots, 9;$$

$$\Delta y_{j+1j} = H_j + H_{j+1} - R_0(1 - \cos \varphi_j) - R_0(1 - \cos \varphi_{j+1}), \quad j = 3, \dots, 9;$$

$$z_{j+1j} = \Delta z_{j+1j} \cos \varphi_j - \Delta y_{j+1j} \sin \varphi_j, \quad j = 3, \dots, 9;$$

$$y_{j+1j} = \Delta z_{j+1j} \sin \varphi_j + \Delta y_{j+1j} \cos \varphi_j, \quad j = 3, \dots, 9.$$

Проекции главных векторов сил в точках касания листа с роликками равны

$$F_{01y} = N_1 \cos \varphi_1 - F_{п1} \sin \varphi_1, \quad F_{01z} = N_1 \sin \varphi_1 + F_{п1} \cos \varphi_1,$$

$$F_{02y} = F_{01y} - N_2 \cos \varphi_2 + F_{п2} \sin \varphi_2, \quad F_{02z} = F_{01z} + N_2 \sin \varphi_2 + F_{п2} \cos \varphi_2,$$

$$F_{0j+1y} = F_{0jy} + (-1)^j N_{j+1} \cos \varphi_{j+1} + (-1)^j F_{пj+1} \sin \varphi_{j+1}, \quad j = 2, \dots, 7;$$

$$F_{0j+1z} = F_{0jz} - N_{j+1} \sin \varphi_{j+1} + F_{пj+1} \cos \varphi_{j+1}, \quad j = 2, \dots, 7.$$

Добавки к реакциям сил в точках касания листа с роликками равны

$$\Delta N_2 = -F_{01y} \cos \varphi_2 + F_{01z} \sin \varphi_2, \quad \Delta F_{п2} = F_{01y} \sin \varphi_2 + F_{01z} \cos \varphi_2,$$

$$\Delta N_{j+1} = (-1)^j F_{0jy} \cos \varphi_{j+1} - F_{0jz} \sin \varphi_{j+1}, \quad j = 2, \dots, 8;$$

$$\Delta F_{пj+1} = (-1)^j F_{0jy} \sin \varphi_{j+1} + F_{0jz} \cos \varphi_{j+1}, \quad j = 2, \dots, 8.$$

Нормальные реакции рабочих роликков в точках касания с листом равны

$$N_1 = \frac{M_2 - F_{п1} y_{21}}{z_{21}},$$

$$N_j = \frac{(-1)^j (-M_{j+1} + M_j) - F_{пj} y_{j+1j} - \Delta N_j z_{j+1j} - \Delta F_{пj} y_{j+1j}}{z_{j+1j}}, \quad j = 2, \dots, 9;$$

$$N_{10} = \frac{-M_9 - F_{п10}(z_{109} \sin(\varphi_9 + \varphi_{10}) - y_{109} \cos(\varphi_9 + \varphi_{10}))}{z_{109} \cos(\varphi_9 + \varphi_{10}) + y_{109} \sin(\varphi_9 + \varphi_{10})}.$$

Нормальные реакции рабочих роликов десятироликовой правильной машины при  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $R = 125$  мм,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $h = 10$  мм,  $t = 270$  мм,  $\rho_1 = -1$  м,  $H_2 = 12$  мм,  $H_4 = 6$  мм,  $H_6 = 3$  мм,  $H_8 = 1,5$  мм и  $H_{10} = 0,75$  мм показаны на рис. 3.

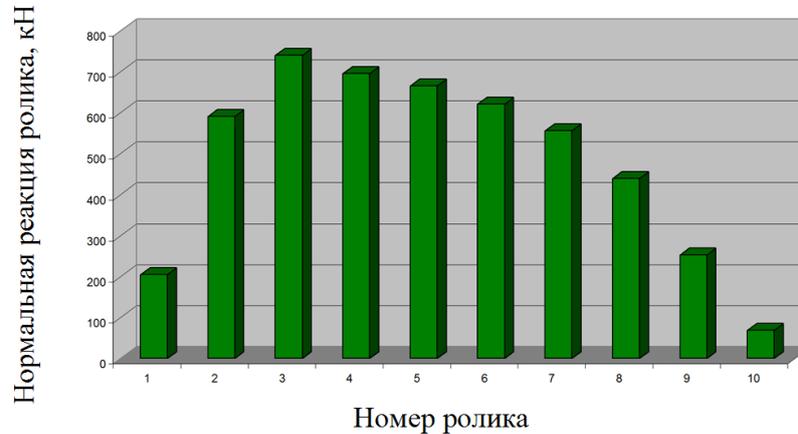


Рис. 3. Нормальные реакции рабочих роликов

Вертикальная сила (сила верхней кассеты роликов) давления верхней кассеты роликов на стальной лист равна

$$F_{\text{верх}} = N_2 \cos \varphi_2 - F_{п2} \sin \varphi_2 + N_4 \cos \varphi_4 - F_{п4} \sin \varphi_4 + N_6 \cos \varphi_6 - F_{п6} \sin \varphi_6 + N_8 \cos \varphi_8 - F_{п8} \sin \varphi_8 + N_{10} \cos \varphi_{10} - F_{п10} \sin \varphi_{10}.$$

Вертикальная сила давления листа на нижнюю кассету роликов равна

$$F_{\text{нижн}} = N_1 \cos \varphi_1 - F_{п1} \sin \varphi_1 + N_3 \cos \varphi_3 - F_{п3} \sin \varphi_3 + N_5 \cos \varphi_5 - F_{п5} \sin \varphi_5 + N_7 \cos \varphi_7 - F_{п7} \sin \varphi_7 + N_9 \cos \varphi_9 - F_{п9} \sin \varphi_9.$$

**Выводы.** Предложен аналитический метод определения реакций опор рабочих роликов при правке на десятироликовой листопрямильной машине. Результаты исследований могут быть широко использованы на металлургических заводах при производстве толстого стального листа и стальных труб большого диаметра для магистральных трубопроводов [1–6].

#### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.
3. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямильной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
4. 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.
5. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
6. 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.

## СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧИХ РОЛИКОВ НА ЛИСТ В СЕМИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ

*Шинкин В.Н.*

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

Предложен метод определения реакций опор рабочих роликов при холодной правке стального листа на семироликовой листопрямительной машине. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах по производству стального листа.

*Ключевые слова:* стальной лист, листопрямительные машины, реакции опор роликов.

**Введение.** После горячей прокатки стальные листы деформируются при охлаждении из-за остаточных напряжений. Поэтому стальные листы правят в листопрямительных машинах [1–6]. В работе автора [3] была предложена методика определения формы и кривизны  $\varepsilon$  (радиуса кривизны  $\rho$ ) стального листа при правке в семироликовой листопрямительной машине. Поэтому далее будем считать, что радиусы кривизны листа, углы и координаты точек касания листа с роликами уже известны.

Пусть  $t$  – шаг между нижними правильными роликами;  $H_i$  – величина обжатия срединной поверхности стального листа на  $i$ -ом правильном ролике (для нижних роликов положительным направлением обжатия считается направление вверх, для верхних роликов – вниз),  $h$  – толщина стального листа,  $R$  – радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ;  $\sigma_T$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами,  $\varphi_i$  – углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 7$ ) (рис. 1). Не ограничивая общности будем считать, что нижние правильные ролики лежат на одном уровне ( $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = 0$  м).

При пластическом изгибе стального листа ( $\rho < \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ ) изгибающий момент в поперечном сечении листа равен

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

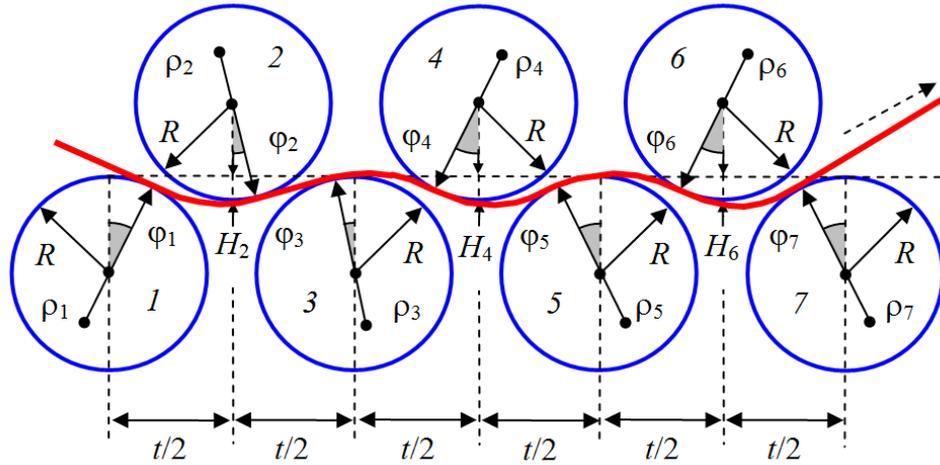


Рис. 1. Форма листа между семью рабочими роликами

При упругом изгибе стального листа изгибающий ( $\rho \geq \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ ) момент в поперечном сечении листа равен [1–6]

$$M = \frac{bh^3E}{12\rho}.$$

Пусть  $M_i$  – изгибающий момент стального листа в точках его касания с рабочими роликами листопрямительной машины:

$$M_1 = 0, \quad M_2 = M(\rho_2), \quad M_3 = -M(\rho_3), \quad M_4 = M(\rho_4), \\ M_5 = -M(\rho_5), \quad M_6 = M(\rho_6), \quad M_7 = 0.$$

**Расчет силовых параметров семироликовой листопрямительной машины.** Пусть  $N_i$ ,  $M_{pi}$  и  $F_{pi}$  ( $F_{pi} = M_{pi}/R$ ) – соответственно реакция опоры, вращательный момент (передаваемый от редуктора) и подающее усилие (сила подачи)  $i$ -го ролика ( $i = 1 \dots 7$ ) (рис. 2).

Введем семь локальных декартовых прямоугольных систем координат  $y$ - $z$  в точках касания листа с рабочими роликами. Оси  $z$  направим по касательной к поверхности роликов слева направо, а оси  $y$  – перпендикулярно к оси  $z$  в сторону центров соответствующих роликов.

Пусть  $y_{ji}$  и  $z_{ji}$  – координаты точек касания листа с  $j$ -ым роликом в  $i$ -ой системе координат. Введем вспомогательные расстояния:

$$\Delta z_{21} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2, \quad \Delta y_{21} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2),$$

$$z_{21} = \Delta z_{21} \cos \varphi_1 + \Delta y_{21} \sin \varphi_1, \quad y_{21} = -\Delta z_{21} \sin \varphi_1 + \Delta y_{21} \cos \varphi_1,$$

$$\Delta z_{32} = \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3, \quad \Delta y_{32} = H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3),$$

$$z_{32} = \Delta z_{32} \cos \varphi_2 + \Delta y_{32} \sin \varphi_2, \quad y_{32} = -\Delta z_{32} \sin \varphi_2 + \Delta y_{32} \cos \varphi_2,$$

$$\Delta z_{j+1j} = \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_j - R_0 \sin \varphi_{j+1}, \quad j = 3, \dots, 6;$$

$$\Delta y_{j+1j} = H_j + H_{j+1} - R_0(1 - \cos \varphi_j) - R_0(1 - \cos \varphi_{j+1}), \quad j = 3, \dots, 6;$$

$$z_{j+1j} = \Delta z_{j+1j} \cos \varphi_j - \Delta y_{j+1j} \sin \varphi_j, \quad j = 3, \dots, 6;$$

$$y_{j+1j} = \Delta z_{j+1j} \sin \varphi_j + \Delta y_{j+1j} \cos \varphi_j, \quad j = 3, \dots, 6.$$

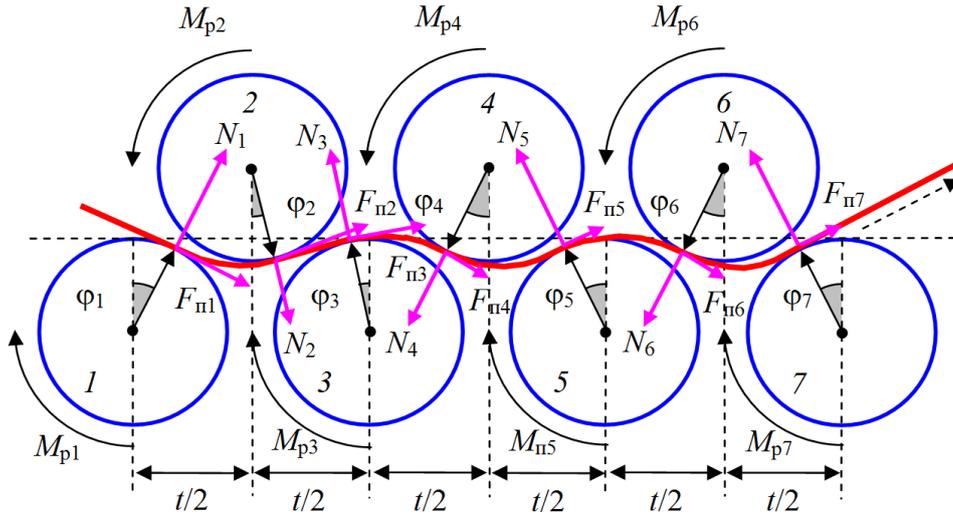


Рис. 2. Силовые факторы, действующие на лист

Проекции главных векторов сил в точках касания листа с роликками равны

$$\begin{aligned} F_{01y} &= N_1 \cos \varphi_1 - F_{п1} \sin \varphi_1, & F_{01z} &= N_1 \sin \varphi_1 + F_{п1} \cos \varphi_1, \\ F_{02y} &= F_{01y} - N_2 \cos \varphi_2 + F_{п2} \sin \varphi_2, & F_{02z} &= F_{01z} + N_2 \sin \varphi_2 + F_{п2} \cos \varphi_2, \\ F_{0j+1y} &= F_{0jy} + (-1)^j N_{j+1} \cos \varphi_{j+1} + (-1)^j F_{пj+1} \sin \varphi_{j+1}, & j &= 2, \dots, 4; \\ F_{0j+1z} &= F_{0jz} - N_{j+1} \sin \varphi_{j+1} + F_{пj+1} \cos \varphi_{j+1}, & j &= 2, \dots, 4. \end{aligned}$$

Добавки к реакциям сил в точках касания листа с роликками равны

$$\begin{aligned} \Delta N_2 &= -F_{01y} \cos \varphi_2 + F_{01z} \sin \varphi_2, & \Delta F_{п2} &= F_{01y} \sin \varphi_2 + F_{01z} \cos \varphi_2, \\ \Delta N_{j+1} &= (-1)^j F_{0jy} \cos \varphi_{j+1} - F_{0jz} \sin \varphi_{j+1}, & j &= 2, \dots, 5; \\ \Delta F_{пj+1} &= (-1)^j F_{0jy} \sin \varphi_{j+1} + F_{0jz} \cos \varphi_{j+1}, & j &= 2, \dots, 5. \end{aligned}$$

Нормальные реакции рабочих роликков в точках касания с листом равны

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{M_2 - F_{п1} y_{21}}{z_{21}}, \\ N_j &= \frac{(-1)^j (-M_{j+1} + M_j) - F_{пj} y_{j+1j} - \Delta N_j z_{j+1j} - \Delta F_{пj} y_{j+1j}}{z_{j+1j}}, \quad j = 2, \dots, 6; \\ N_7 &= \frac{M_6 - F_{п7} (z_{76} \sin(\varphi_6 + \varphi_7) - y_{76} \cos(\varphi_6 + \varphi_7))}{z_{76} \cos(\varphi_6 + \varphi_7) + y_{76} \sin(\varphi_6 + \varphi_7)}. \end{aligned}$$

Вертикальная сила (сила верхней кассеты роликков) давления верхней кассеты роликков на стальной лист равна

$$F_{\text{верх}} = N_2 \cos \varphi_2 - F_{п2} \sin \varphi_2 + N_4 \cos \varphi_4 - F_{п4} \sin \varphi_4 + N_6 \cos \varphi_6 - F_{п6} \sin \varphi_6.$$

Вертикальная сила давления листа на нижнюю кассету роликков равна

$$\begin{aligned} F_{\text{нижн}} &= N_1 \cos \varphi_1 - F_{п1} \sin \varphi_1 + N_3 \cos \varphi_3 - F_{п3} \sin \varphi_3 + \\ &+ N_5 \cos \varphi_5 - F_{п5} \sin \varphi_5 + N_7 \cos \varphi_7 - F_{п7} \sin \varphi_7. \end{aligned}$$

**Заключение.** Получен метод расчета силовых параметров правки

стального листа на семироликовой листопрямительной машине. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах по производству широкого толстого стального листа [1–6].

#### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
3. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямительной машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
4. 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.
5. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
6. 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.

## ФОРМА ЛИСТА В ДЕСЯТИРОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЕ

*Шинкин В.Н.*

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

Предложен математический метод определения оптимальных технологических параметров холодной правки толстого стального листа на десятироликовой листопрямительной машине. Расчеты позволяют определить вид и кривизну нейтральной линии стального листа при правке в зависимости от радиуса рабочих роликов, шага между роликами листопрямительной машины, величины обжатия листа верхними роликами, толщины листа, а также модуля Юнга, предела текучести и модуля упрочнения металла листа. Результаты исследований могут быть использованы на металлургических заводах.

*Ключевые слова:* остаточные напряжения, кривизна стального листа, коэффициент пружинения, листопрямительная машина, упругопластическая непрерывная среда.

**Математическая модель правки листа.** Процесс правки листа в многороликовых правильных машинах является обязательной операцией технологических процессов при металлургическом производстве [1–6].

Не ограничивая общности далее будем считать, что нижние пять рабочих роликов неподвижны ( $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = H_9 = 0$  мм), а верхние пять рабочих роликов имеют независимые вертикальные перемещения.

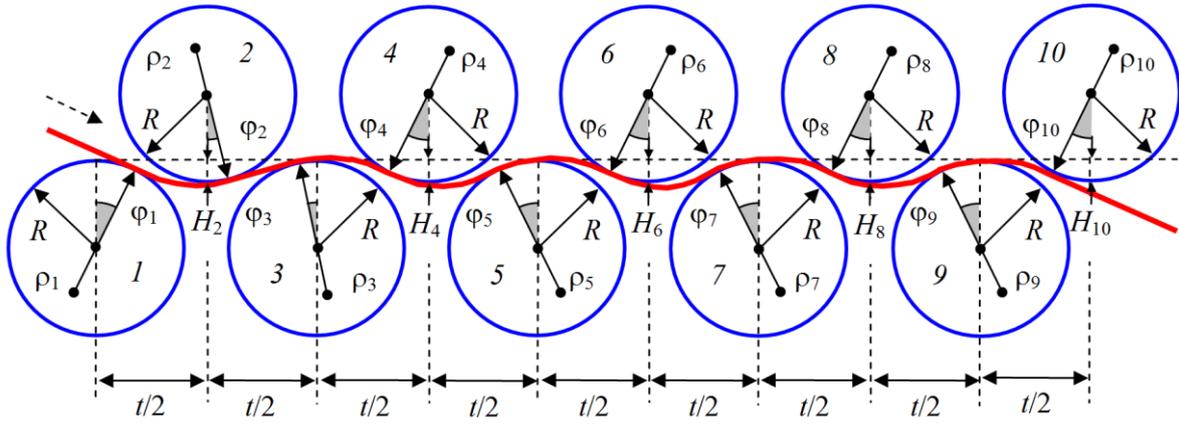


Рис. 1. Кинематическая схема правки листа между рабочими роликами

Пусть  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – модули упрочнения стали при растяжении и сжатии,  $E$  и  $\sigma_T$  – модуль Юнга и предел текучести;  $R$  – радиус рабочих роликов,  $\varphi_i$  – углы точек касания роликов и стального листа ( $i = 1 \dots 10$ ),  $t$  – шаг рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ,  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  и  $\rho_i$  – кривизна листа в точках касания с роликами и радиусы кривизны,  $h$  – толщина листа (рис. 1).

Математические уравнения для вычисления кривизны листа в точках касания листа с рабочими роликами имеют вид:

*Первый и второй ролики*

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

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

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

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

*Второй и третий ролики*

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

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

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

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_{2,3} = 2a_2, \quad \rho_2 = \rho_{2,3} = \frac{1}{2a_2}, \quad \varepsilon_{3,2} = \frac{2a_2 - 6b_2 z_3}{\left[1 + (2a_2 z_3 - 3b_2 z_3^2)^2\right]^{\frac{3}{2}}}, \quad \rho_{3,2} = \frac{1}{\varepsilon_{3,2}};$$

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

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

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

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

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

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

2j-ый и (2j+1)-ый ролики (j = 2,3,4)

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

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

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

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

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

Граничные условия имеют вид

$$\rho_{1,2} = \rho_1; \quad \rho_{j,j-1} = -\rho_{j,j+1}, \quad j = 2, \dots, 9; \quad \rho_{10} = \rho_{10,9} = \beta(\rho_{9,10})\rho_{9,10},$$

где коэффициент пружинения листа равен [3, 6]

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

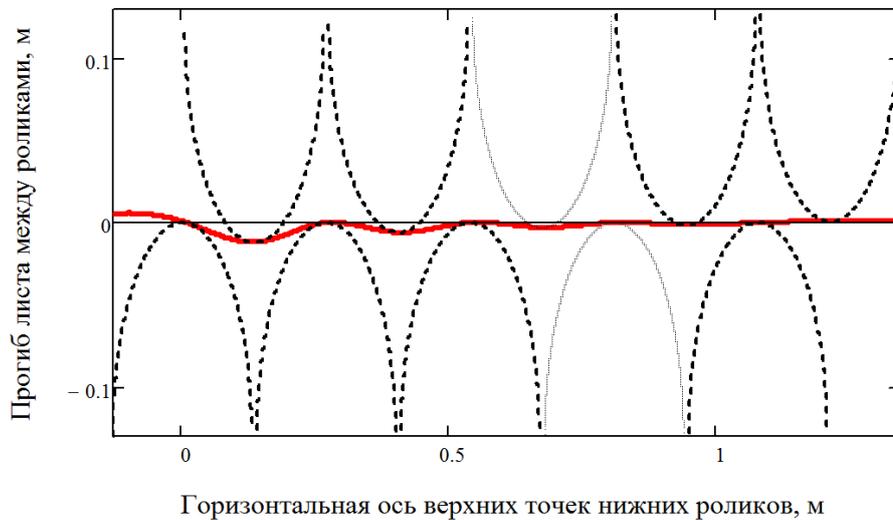


Рис. 2. Прогиб листа

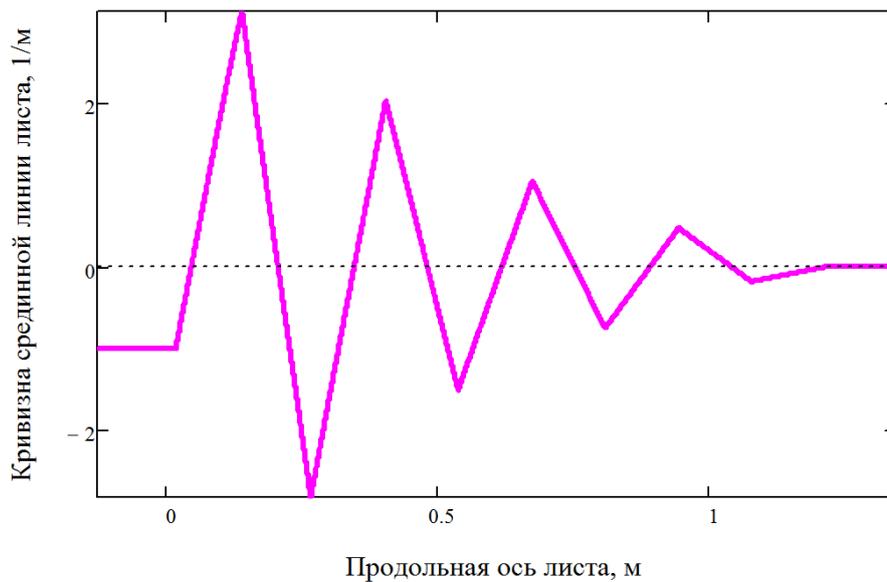


Рис. 3. Кривизна листа (первый случай)

**Численные расчеты.** Численные расчеты для прогиба и кривизны стального листа в десятироликовой правильной машине при  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $R = 125$  мм,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $h = 10$  мм,  $t = 270$  мм,  $\rho_1 = -1$  м,  $H_2 = 12$  мм,  $H_4 = 6$  мм,  $H_6 = 3$  мм,  $H_8 = 1,5$  мм и  $H_{10} = -0,75$  мм показаны на рис. 2 и рис. 3.

**Выводы.** Предложен аналитический метод определения кривизны толстого стального листа при холодной правке в десятироликовой листопрямительной машине. Результаты исследования могут быть широко использованы на металлургических заводах при производстве толстого стального листа и при производстве стальных труб большого и среднего диаметра для магистральных газонефтепроводов [1–6].

### Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.
3. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямляющей машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
4. 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.
5. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
6. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // Nauka i studia. 2015. Т. 4. С. 60–76.

Подписано в печать 12.01.2017. Гарнитура Times New Roman.  
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 8,94. Тираж 100 экз. Заказ № 5  
ООО «ЭПИЦЕНТР»  
308010, г. Белгород, ул. Б.Хмельницкого, 135, офис 1  
ИП Ткачева Е.П., 308000, г. Белгород, Народный бульвар, 70а