ISSN 2518-1645 (print), 2518-1653 (online)
science.donntu.ru

ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ВЕСТНИК

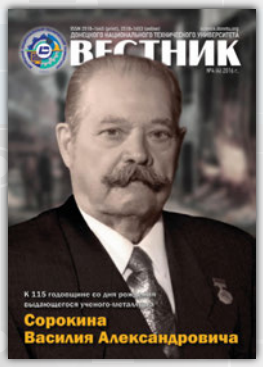
№5 (5) 2016 г.



К 65-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора

Сафьянца Сергея Матвеевича

НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ Донецкого национального технического университета



Международный научно-технический журнал «Вестник ДонНТУ»

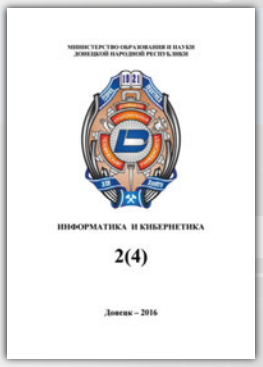
Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №303 от 06.08.2015

ISSN 2518-1645 (print), 2518-1653 (online)
Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016

Периодичность – 6 раз в год

Научные направления:
02.00 – Химические науки;
05.04 – Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение;
05.05 – Транспортное, горное и строительное машиностроение;
05.09 – Электротехника;
05.14 – Энергетика;
05.17 – Химическая технология;
08.00 – Экономические науки;
Подробная информация - http://vestnik.donntu.ru

Научный журнал «Информатика и кибернетика»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №307 от 06.08.2015

Периодичность – 4 раза в год

Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016

Научные направления:
01.01 – Математика;
05.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика;
05.12 – Радиотехника и связь;
05.13 – Информатика, вычислительная техника и управление;
Подробная информация - http://infcyb.donntu.ru



Международный научно-технический журнал «International journal of innovative and information manufacturing technologies»

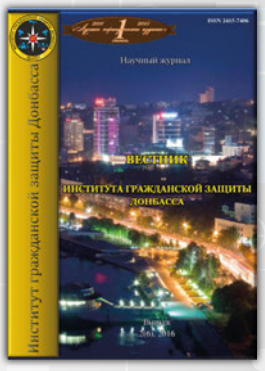
Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №308 от 06.08.2015

ISSN 2311-6765
Договор с РИНЦ от 19.02.2016 г. №82-02/2016

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
01.02 – Механика;
05.02 – Машиностроение и машиноведение;
05.11 – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы;
Подробная информация - http://iimt.donntu.ru

Научный журнал «Вестник Института гражданской защиты Донбасса»



Свид-во о регистрации в Министерстве информации ДНР от 08.11.2016 г. №02/1252 (print) и от 10.11.2016 г. №02/1268 (online)

Периодичность – 4 раза в год

Научные направления:
05.12 – Радиотехника и связь;
05.13 – Информатика, вычислительная техника и управление;
05.23 – Строительство и архитектура;
05.26 – Безопасность деятельности человека;
13.00 – Педагогические науки;
Подробная информация - http://vestnik.igzd.donntu.ru

ISSN 2415-7392 (print), 2415-7406 (online)
Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016
Включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР (приказ МОН ДНР №1134 от 01.11.2016 г.)

ВЕСТНИК ДОННТУ №5(5)'2016

международный научно-технический журнал

Учредитель и издатель: *ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)*

Главный редактор
Маренич К.Н. (д.т.н., проф.)*

Зам. главного редактора
Булгаков Ю.Ф. (д.т.н., проф.)*

Ответственный секретарь
Сотников А.Л. (к.т.н., доц.)*

Редакционный совет:
Бершадский И.А. (д.т.н., проф.)*
Бирюков А.Б. (д.т.н., проф.)*
Бутузова Л.Ф. (д.х.н., проф.)*
Высоцкий Ю.Б. (д.х.н., проф.)*
Гавриленко В.А. (д.э.н., проф.)*
Гуляев В.Г. (д.т.н., проф.)*
Гутаревич В.О. (к.т.н., доц.)*
Дедовец И.Г. (к.т.н., доц.)*
Еронько С.П. (д.т.н., проф.)*
Ковалев А.П. (д.т.н., проф.)*
Кондрахин В.П. (д.т.н., проф.)*
Кононенко А.П. (д.т.н., проф.)*
Кучер В.А. (д.э.н., проф.)*
Ларин А.М. (к.т.н., доц.)*
Морозова Л.Н. (к.т.н., доц.)*
Павлюков В.А. (к.т.н., доц.)*
Приседский В.В. (д.х.н., проф.)*
Толок А.В. (к.т.н., доц.)*
Шабаев О.Е. (д.т.н., проф.)*
Шаповалов В.В. (д.х.н., проф.)*
Яковченко А.В. (д.т.н., проф.)*
** - штатные сотрудники учредителя*

Адрес: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58
Телефоны: +380 (62) 304-60-82
Эл. почта: vestnikdonntu@gmail.com
Интернет: vestnik.donntu.org

Вестник ДонНТУ
2016. №5(5)

ISSN 2518-1645 (print)
ISSN 2518-1653 (online)

Издается с января 2016 г.
Периодичность издания: 6 раз в год

Свидетельство
о государственной регистрации
№303 от 06.08.2015

За содержание статей и их оригинальность несут ответственность авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов. За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Подписано к печати
по решению Ученого Совета
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»
Протокол №9 от 23.12.2016

Формат 60×84$^{1/8}$. Заказ 1216.
Тираж 100 экз. Печать:
Изд-во «Донецкая политехника», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ»

ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВО

Ткаченко А. Е.
Повышение эффективности работы шахтного комплекса теплоснабжения при совместной работе котельных агрегатов НТКС на тепловую сеть 3

ОБОРУДОВАНИЕ

А.Б. Бирюков, С.П. Еронько, С.В. Конопля
Применение водоохлаждаемых нефутерованных реакторов для газификации угля по смешанной схеме 10

С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, С.В. Мечик, О.А. Ковалева, Е.А. Лоза
Теоретические и экспериментальные исследования силовых параметров процесса резки тонкостенных труб клиновыми ножами 15

С.А. Снитко, А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева
Компьютерное проектирование прессового инструмента деформации для штамповки колесных заготовок 22

А.В. Васильева, А.Б. Бирюков
Исследование погрешностей системы диагностики при определении величин, характеризующих тепловую работу кристаллизаторов МНЛЗ 31

П.А. Гнитиев
Снижение тепловой инерционности футеровки подины печей как средство сокращения длительности воздушного охлаждения металла 37

С.П. Барков, А.И. Туяхов
Инженерная методика прогнозирования теплового состояния футеровки методической печи, находящейся в условиях простоя 43

ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

И.В. Пенькова, А.В. Боднар
Теоретико-методологические аспекты развития информации и коммуникаций на предприятии 48

ЮБИЛЕИ И ПЕРСОНАЛИИ

К 65-летию Сергея Матвеевича Сафьянца 56
Памяти Виктора Яковлевича Седуша 59

ИНФОРМАЦИЯ

Требования к статьям, направляемым в редакцию 60

Информация об издании

– На страницах журнала публикуются научные статьи фундаментального и прикладного характера, информация о конференциях, семинарах и выставках; освещается деятельность ведущих научно-исследовательских и проектных институтов, промышленных предприятий и коммерческих организаций, технопарков.

– Журнал оказывает информационную поддержку в продвижении на рынок конкурентоспособной наукоемкой продукции, проектов, научно-технических разработок и высоких технологий в различных областях промышленности.

– Журнал распространяется бесплатно в печатном и эл. виде посредством сети Интернет; принимает участие в научных конференциях и выставках.

– Журнал включен в «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ). Интернет: elibrary.ru

– Редакция журнала принимает к публикации и осуществляет рецензирование рукописей статей по химическим, техническим и экономическим наукам и следующим группам специальностей: 02.00 – Химические науки; 05.02 – Машиностроение и машиноведение; 05.04 – Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение; 05.05 – Транспортное, горное и строительное машиностроение; 05.09 – Электротехника; 05.11 – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы; 05.14 – Энергетика; 05.16 – Металлургия и материаловедение; 05.17 – Химическая технология; 08.00 – Экономические науки

VESTNIK DONNTU No.5(5)'2016

international scientific-technical journal

Founder and publisher *Donetsk National Technical University (Donetsk)*

Editor-in-chief
Marenych K.N. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*

Deputy Editor-in-chief
Bulgakov Y.F. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*

Executive secretary
Sotnikov A.L. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*

Editorial council:
Bershadsky I.A. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Biryukov A.B. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Butuzova L.F. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Vusotsky Y.B. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Gavrilenko V.A. (Dr. Sci. (Econ.), Prof.)*
Gulyaev V.G. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Gutarevich V.O. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Dedovets I.G. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Eron'ko S.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kovalev A.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kondrahin V.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kononenko A.P. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Kucher V.A. (Dr. Sci. (Econ.), Prof.)*
Larin A.M. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Mishchenko N.I. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Morozova L.N. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Pavlyukov V.A. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Prisedsky V.V. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Tolok A.V. (Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.)*
Chaltsev M.N. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Shabayev O.E. (Dr. Sci. (Eng.), Prof.)*
Shapovalov V.V. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
Yakovchenko A.V. (Dr. Sci. (Chem.), Prof.)*
** - staff members of the founder*

Address: 283001, Donetsk, 58, Artema St.
Phone: +380 (62) 304-60-82,
(66) 029-44-30
E-mail: vestnikdonntu@gmail.com
Internet: vestnik.donntu.org

Vestnik DonNTU
2016. No.5(5)

ISSN 2518-1645 (print)
ISSN 2518-1653 (online)

Published since January, 2016
Publication frequency: 6 times a year

Certificate of State Registration
No.303 dated 06.08.2015

The content and originality
of the articles is the author's
responsibility. The editorial opinion
may not necessarily represent
the views of the authors.
The content of advertising material
is the advertiser's responsibility.

Subscribed to print
on the recommendation
of the Academic Council
Donetsk National Technical University
Protocol No.9 dated 23.12.2016

Format 60×84$^{1/8}$. Order 1216.
Circulation 100. Print:
Publishing house
"Donetsk Polytechnic", 2016

CONTENTS

SPECIAL ISSUE
"METALLURGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT"

TECHNOLOGY AND PRODUCTION

A.E. Tkachenko
Improving the efficiency of mine complex
of heat supply operating simultaneously
with boiler units of LTFB on heating networks 3

EQUIPMENT

A.B. Biryukov, S.P. Eron'ko, S.V. Konoplya
Application of water-cooled unlined reactors for the gasification
of coal according to a mixed scheme.....10
S.P. Eron'ko, E.V. Oshovskaya, S.V. Mechik,
O.A. Kovaleva, E.A. Loza
Theoretical and experimental studies of force parameters
during cutting of thin-walled pipes by wedge knives 15
S.A. Snitko, A.V. Yakovchenko, N.I. Ivleva
Computer design of forging deformation tool
for stamping wheels billets.....22
A.V. Vasylieva, A.B. Biryukov
Research of diagnostic system errors when determining
quantities characterizing the thermal performance of CCM molds.....31
P.A. Gnitiev
Reducing the thermal inertia of the furnace bottom lining
as a means of reducing the duration of air cooling of metal.....37
S.P. Barkov, A.I. Tuyahov
The engineering methods for predicting the lining thermal state
of continuous furnaces in downtime.....43

TECHNICAL MANAGEMENT

I.V. Penkova, A.V. Bodnar
Theoretical and methodological aspects of the development
of information and communications at the enterprise.....48

ANNIVERSARIES AND BIOGRAPHY

To the 65th anniversary of Sergei Matveyevich Safyants 56
In memory of Viktor Yakovlevich Sedush.....58

INFORMATION

Requirements for the articles submitted to the Editorial office 60

Publication Information

– The journal publishes research papers of fundamental and applied nature, information on conferences, seminars and exhibitions. It covers the activities of the leading research and design institutes, industrial and commercial companies and technology parks.

– The journal provides information support for the marketing of competitive high-tech products, projects, scientific and technical developments and high technologies in various fields of industry.

– The journal is distributed free of charge in electronic format via the Internet. It provides informational support and participates in International scientific conferences and exhibitions.

– The editorial accepts for publication and reviews manuscripts on chemical, technical and economic sciences, and the following groups of specialties: 02.00 – Chemical Science; 05.02 – Mechanical engineering and engineering science; 05.04 – Power, Metallurgical and Chemical Engineering; 05.05 – Transport, Mining and Construction Engineering; 05.09 – Electrical Engineering; 05.11 – Instrument engineering, metrology and information-measuring instruments and systems; 05.14 – Energy; 05.16 – Metallurgy and materials science; 05.17 – Chemical Technology; 08.00 – Economics

УДК 697.326:622.933

А.Е. Ткаченко
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШАХТНОГО КОМПЛЕКСА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ НТКС НА ТЕПЛОВУЮ СЕТЬ

Предложена рациональная схема теплоснабжения горного предприятия с использованием в качестве источников тепла группы котельных агрегатов с топками НТКС, обоснованы критерии эффективной работы группы котельных агрегатов НТКС на тепловую сеть, разработана методика определения рационального числа котлов, а также производительности каждого работающего в группе котельного агрегата в зависимости от прогнозируемого теплового спроса абонентов.

Ключевые слова: *котельный агрегат НТКС, комплекс теплоснабжения, производительность, КПД, методика.*

Постановка проблемы

Дефицит и удорожание каменноугольного топлива, снижение его качества (содержание золы в добытых углях достигает 35 %) [1], вынужденная остановка работы ряда шахт делают актуальной задачу экономии топливно-энергетических ресурсов страны.

В настоящее время часто встречаются факты значительных потерь тепла в комплексах теплоснабжения из-за его нерационального производства и распределения между абонентами. Это приводит к повышенному производству теплоносителя, перерасходу топлива, а также к возникновению аварийных ситуаций как в жилищных комплексах, так и на промышленных объектах, когда имеющиеся в наличии источники тепла не могут удовлетворить повышенный тепловой спрос потребителей при возникновении чрезвычайных ситуаций (например, резком понижении температуры окружающей среды).

Указанная проблематика является актуальной и для шахт, поскольку следствием использования неудовлетворительных методик расчета требуемой производительности источников тепла может быть как обмерзание стволов в зимний период при отсутствии возможности оперативно увеличивать производительность шахтной котельной, так и значительное перепроизводство тепла вследствие использования при тепловых расчетах укрупненных и усредненных характеристик потребителей. Обеспечение нормального, экономичного функционирования горных предприятий является приоритетным направлением науки Донбасса, поскольку способствует развитию энергетической независимости страны.

Современные источники теплоснабжения шахт (в основном водогрейные котлы со слоевыми топками) не обладают способностью обеспечения необходимого количества тепла при резком повышении спроса. Также они не позволяют в полной мере использовать тепловой потенциал энергетических ресурсов, что влечет большой недожог и не дает возможности эксплуатировать низкосортное топливо.

Анализ последних исследований и публикаций

Внедрение технологии сжигания топлива в низкотемпературном кипящем слое (НТКС) обеспечивает наиболее полное использование теплового потенциала угля и позволяет ввести в промышленную эксплуатацию ранее малопригодные для энергетики угли с содержанием золы до 70 % [2]. Опыт использования топок НТКС при температуре окружающей среды ниже -30 °С (ГП «Шахта 4-21» и шахта «Южнодонбасская №1») показал их достаточную эффективность [3;4]. Также к преимуществам технологии НТКС следует отнести их малую инерционность реагирования на управляющие воздействия по изменению производительности по сравнению со слоевыми топками, простой и быстрый, с возможностью полной автоматизации розжига топок из холодного состояния, а также возможностью на длительное время перевода котла в «горячий резерв», при котором слой поддерживается в горячем состоянии за счет аккумулированного тепла, а время и трудозатраты на его возврат в рабочее состояние незначительны [5].

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Большое количество внешних факторов влияния, воздействующих на комплекс теплоснабжения шахты, может привести к его работе с большим перерасходом тепла, пониженным КПД котельных агрегатов, нерациональным расходом твердого топлива [6]. В качестве мер по повышению эффективности комплекса теплоснабжения шахт целесообразно предложить:

1) применение рациональных схем теплоснабжения с использованием высокоэкономичных источников тепла (котельных агрегатов с топками НТКС), параллельно работающих на тепловую сеть;

2) разработку методики определения наиболее рационального состава одновременно работающих котельных агрегатов НТКС, а также производительности каждого котельного агрегата исходя из текущих потребностей абонентов, а не среднегодовых укрупненных показателей;

3) разработку эффективных методов оперативного управления производительностью котлов НТКС с целью обеспечения требуемой производительности, а также предупреждения аварийных ситуаций.

Известные исследования в данной области большей частью касаются вопросов рационального распределения тепла и обоснования схем и оценки эффективности систем теплоснабжения жилищно-коммунальных хозяйств и не учитывают специфики суточного расхода тепла на санитарно-гигиенические и хозяйственно-бытовые нужды, а также значительного изменения расхода тепла в течение года на вентиляцию таких промышленных предприятий, как шахта [7,8].

Вопросы эффективного управления производством тепла котельными агрегатами с топками НТКС также практически не раскрыты на данный момент. Особый интерес при этом представляет проблема рационального распределения заданий текущей производительности каждого котельного агрегата НТКС при их совместной работе на тепловую сеть в соответствии с критерием обеспечения максимального совместного КПД котельных агрегатов.

Цель (задачи) исследования

Как видим, современный уровень раскрытия вопросов по выбору рациональных схем теплоснабжения шахт, расчету и управлению текущей производительностью котельных агрегатов в соответствии с фактическим, а не среднегодовым тепловым спросом является неудовлетворительным и не обеспечивает эффективного производства тепла и последующего его распределения между абонентами. Следовательно, задачи выбора рациональных схем теплоснабжения шахты, разработки методики расчета рационального состава и текущей производительности котлов НТКС, разработки способов управления их тепловой производительностью имеют научную и практическую ценность.

Таким образом, целью данной работы является повышение эффективности производства и распределения тепла в шахтном комплексе теплоснабжения с топками НТКС путем научного обоснования текущей производительности каждой топки НТКС при их совместной работе на тепловую сеть.

Основной материал исследования

В соответствии с вышеизложенным предлагается внедрять на шахтах схему теплоснабжения, представленную в общем виде на рис. 1. При этом необходимо заметить, что на сегодня данная схема нашла применение на необоснованно малом количестве шахт и других промышленных предприятий (в том числе на шахте «Южнодонбасская № 1») [9]. Схема состоит из n абонентов, m производителей тепла – котельных агрегатов НТКС, которые одновременно работают на сеть и системы трубопроводов [10,11]. Потребители и источник тепла относительно друг друга соединены параллельно. Для поддержания необходимого давления и расхода теплоносителя в гидросистеме присутствуют k циркуляционных насосов. Для компенсации потерь теплоносителя в сети из-за утечек присутствует один подпиточный насос.

Каждый i-й абонент характеризуется количеством тепла $Q_{a.i}$, потребляемого в единицу времени, которое идет на компенсацию нагрева от внешнего охлаждения (отопление) $Q_{ot.i}$, вентиляцию $Q_{vent.i}$ и горячее водоснабжение $Q_{g.vs.i}$ (под горячим водоснабжением в дальнейшем будем подразумевать расход тепла на санитарно-гигиенические и хозяйственно-бытовые нужды). Общее количество потребляемого тепла каждым i-м абонентом определяется как [12,13]:

$$Q_{a.i} = Q_{ot.i} + Q_{vent.i} + Q_{g.vs.i}.$$

С другой стороны, каждый j-й источник тепла – котельный агрегат НТКС характеризуется текущей тепловой производительностью $Q_{k.a.j}$. Обеспечение санитарно-гигиенических норм труда, а также требований по безопасному и безаварийному функционированию шахтных технологических установок (например, шахтных подъемных установок) возможно только при наличии теплового равновесия в комплексе теплоснабжения шахты, при котором совместно работающие топки НТКС полностью обеспечивают

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

текущие нужды абонентов, а также компенсируют потери тепла в системе:

$$\sum_{i=1}^{i=n} Q_{a.i} + \sum_{i=1}^{i=n} Q_{pot.tr.i} = \sum_{i=1}^{i=m} Q_{k.a.i} - \sum_{i=1}^{i=m} Q_{pot.ka.i}\,, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{a.i}$ – сумма потребляемой теплоты абонентами; $\sum_{i=1}^{i=n} Q_{pot.tr.i}$ – сумма потерь тепла в системе при транспортировании к потребителям; $\sum_{i=1}^{i=m} Q_{k.a.i}$ – сумма тепла, производимого котельными агрегатами НТКС при сжигании твердого топлива; $\sum_{i=1}^{i=m} Q_{pot.ka.i}$ – сумма потерь тепла при производстве.

С учетом предложенной схемы теплоснабжения шахты, целесообразным представляется следующий алгоритм расчета рациональной тепловой производительности котельных агрегатов (рис.2), который может быть положен в основу работы системы управления комплексом теплоснабжения. Последовательность расчета теплотехнических параметров элементов комплекса следующая:

1. Прогнозировать тепловой спрос абонентов по разработанной математической модели на основании нормативных графиков тепловой нагрузки и текущих внешних условий во временной перспективе до 2-х часов. Данный запас по времени обусловлен тем, что время запуска топки НТКС из «горячего резерва» колеблется от четверти до получаса, а розжига – до часа. Следовательно, двойного запаса времени должно хватать для своевременного перехода котельной шахты на требуемую производительность, а также для того, чтобы компенсировать инерционность тепломассообмена в тепловых сетях предприятия и самой системы управления.

2. В соответствии с прогнозируемым спросом по представленной ниже методике определять рациональный состав работающих котельных агрегатов НТКС, а также требуемые производительности каждого котла по критерию их рациональной совместной работы на тепловую сеть.

3. Управлять производительностью каждой топки НТКС согласно полученному заданию.

4. Распределять тепловую энергию между потребителями согласно их категорийности и фактическим температурным показателям.

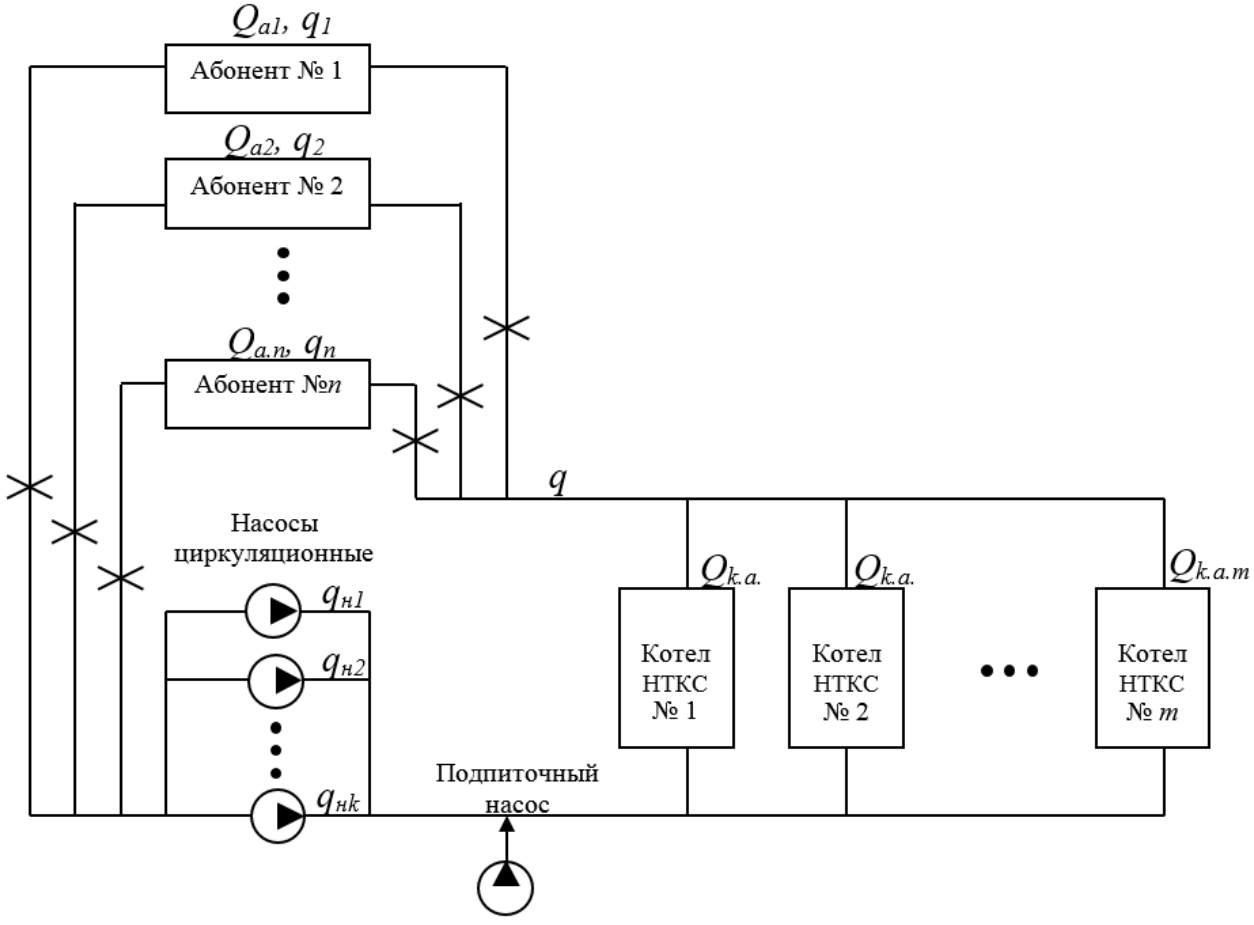


Рис. 1. Структурная схема системы теплоснабжения шахты

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

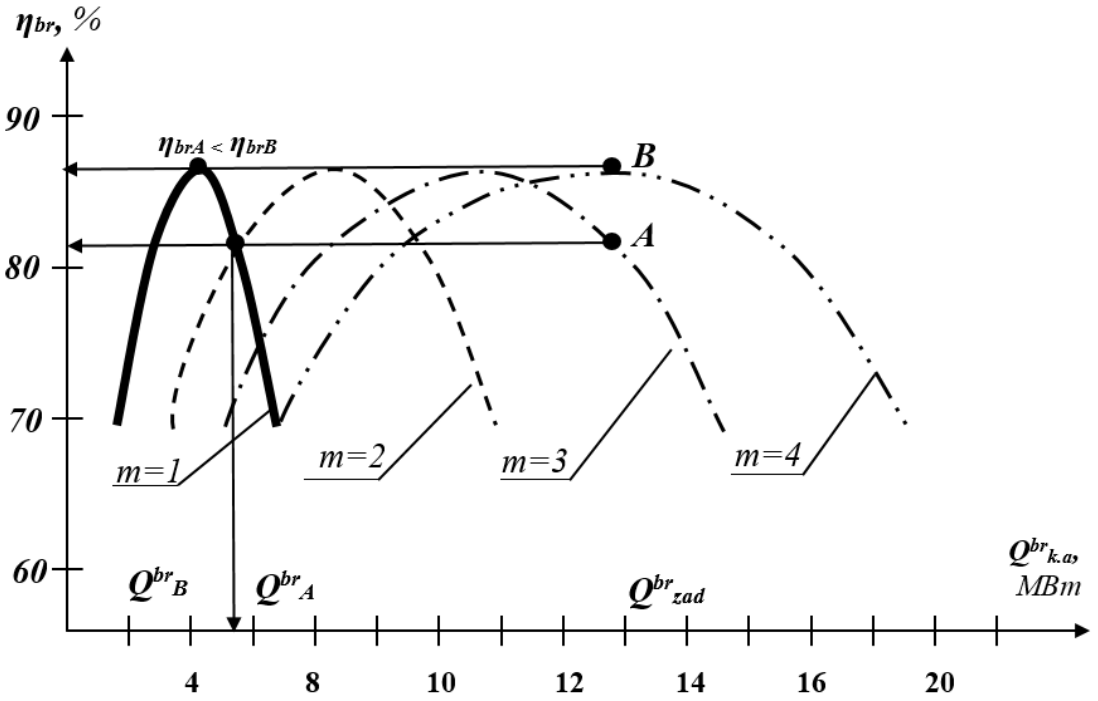


Рис. 2. Зависимость КПД брутто котельного агрегата от его производительности $\eta_{br} = f(Q_{k.a.}^{br}, m)$

Для реализации данного алгоритма необходимо решить ряд научно-технических задач. Научную новизну при этом будут представлять: разработка адекватной математической модели тепломассообмена при производстве и распределении тепла (данному вопросу уже посвящен ряд публикаций автора [14]), а также создание новой методики поиска рационального состава группы котельных агрегатов НТКС, одновременно работающих на тепловую сеть, и их требуемой производительности в зависимости от теплового спроса абонентов шахты.

Рассмотрим ниже вопрос создания данной методики. Задача определения рационального режима совместной работы группы котельных агрегатов НТКС состоит из следующих этапов: определение рационального состава котельных агрегатов, одновременно работающих на общий коллектор, определение требуемой производительности каждого котельного агрегата НТКС.

Лишь на первоначальном этапе исходными данными для решения этой задачи являются зависимости (графики) КПД котлов НТКС от их производительности и другие теплотехнические показатели, полученные при режимно-наладочных испытаниях каждого котла. С учетом того, что в процессе эксплуатации технические характеристики каждого котельного агрегата меняются, в ходе работы комплекса теплоснабжения целесообразно постоянное обновление видов данных графиков на основании оперативной информации. Это становится возможным при условии внедрения САУ производительностью каждого котельного агрегата. При этом необходимые пересчеты будут осуществляться на базе специально разработанной автором математической модели тепломассообмена в котле НТКС [14]. Данная модель выгодно отличается от уже существующих [15,16] тем, что описывает процессы в котельном агрегате в целом, а не только непосредственно в топке НТКС. Также при решении данной задачи следует учитывать такие данные, как энергетические характеристики используемого топлива, его рыночную стоимость и др.

Необходимо отметить, что зависимость КПД котла НТКС от его производительности $\eta_{br} = f(Q_{k.a.}^{br})$ имеет нелинейный вид [17] и для каждого котельного агрегата уникальна. При совместной работе нескольких котельных агрегатов m на одну тепловую сеть возможно обеспечить необходимую производительность всей котельной различным числом работающих топок. Следовательно, возникает задача определения рационального состава и производительности каждого котельного агрегата НТКС при их совместной работе в составе котельной установки.

На рис. 2 представлена усредненная зависимость КПД 4-х типовых котельных агрегатов НТКС $\eta_{br} = f(Q_{k.a.}^{br}, m)$ от их производительности и количества работающих единиц (m=1…4) при принятом с целью упрощения иллюстрации допущении, что котельные агрегаты однотипные и находятся в одинаковом техническом состоя-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

нии, что приводит к идентичным видам зависимостей $\eta_{br.i} = f(Q^{br}_{k.a.i})$.

Очевидно, что требуемую производительность Q^{br}_{zad} можно получить при работе как трех, так и четырех котельных агрегатов. На рабочих характеристиках режимов совместной работы котельных агрегатов это точки *A* и *B* соответственно. Поскольку данным точкам соответствуют различные КПД работы топок, то более целесообразным следует считать режим *B* одновременной работы четырех котельных агрегатов, поскольку КПД установок при этом выше $\eta_{brA} < \eta_{brB}$.

Поскольку котельные агрегаты на практике обычно имеют разный вид характеристики $\eta_{br.i} = f(Q^{br}_{k.a.i})$ $\eta_{br}=f(Q^{br}{}_k)$, то количество кривых, описывающих все комбинации совместной работы котлов, будет увеличиваться, а задача поиска рационального состава и производительности котельных агрегатов значительно усложнится. Эта проблема решается путем разработки метода определения соответствующих производительностей и состава совокупности котельных агрегатов НТКС по критериям их рациональной работы.

Задачу определения рационального режима совместной работы группы котельных агрегатов НТКС разделим на два этапа: определение количества одновременно работающих котельных агрегатов и определение их тепловых нагрузок. В качестве критерия рациональной работы котельных агрегатов целесообразно принять максимум КПД брутто топок НТКС [18].

В качестве исходного критерия при выборе рационального состава котлов НТКС принят максимальный средневзвешенный КПД котельной установки $\eta^{sv}_{br} \to \max$ при наложенных ограничениях, приведенных ниже.

Коэффициент полезного действия группы из *m* котельных агрегатов определим как средневзвешенную величину КПД всех агрегатов.

Тогда целевая функция будет иметь вид:

$$\eta(\{D\}) = \frac{\sum_{i=1}^{m} \eta_{br}(D_i) Q^{br}_{k.a}.i(D_i)}{\sum_{i=1}^{m} Q^{br}_{k.a.i}(D_i)} \to \max, \quad (2)$$

где $\{D\}=\{D_1, D_2, ..., D_m\}$ – вектор производительности (по воде) всех *m* агрегатов; $\eta_{br}(D_i)$ – КПД брутто i-го агрегата (независимо от используемого топлива); $Q^{br}_{k.a.i}(D_i)$ – теплопроизводительность *i*-го агрегата.

В качестве ограничений следует принять следующие условия:

1. Прогнозируемая производительность группы котельных агрегатов должна быть равна прогнозируемому тепловому спросу абонентов, т.е. должно выполняться условие (1).

2. Производительность по теплоносителю каждого котельного агрегата НТКС должна находиться в диапазоне его рабочей производительности:

$$D_i^{\min} \le D_i \le D_i^{\max}, i = 1...m. \quad (3)$$

Таким образом, сформулирована задача определения рационального режима работы котельных агрегатов по критерию (2) при совокупности ограничений (1) и (3) при их совместной работе на тепловую сеть. Данный режим работы обеспечит наиболее эффективное использование твердого топлива и наибольший экономический эффект при эксплуатации котельных агрегатов НТКС. В процессе определения рационального режима работы каждого котла НТКС необходимо определить (*m*-1) переменных $Q^{br}_{k.a.i}(D_i)$ для каждого котла исходя из прогнозируемого теплового спроса.

Выводы

На основании анализа структуры и технологических особенностей комплекса теплоснабжения шахты впервые сформулирована задача управления данным технологическим объектом при условии совместной работы котельных агрегатов топок низкотемпературного кипящего слоя на тепловую сеть.

Предложен критерий определения наиболее эффективной работы котельных агрегатов НТКС, позволяющий комплексно учесть экономические показатели их работы, а также теплотехнические характеристики каждого котельного агрегата.

Разработана методика повышения эффективности работы комплекса теплоснабжения шахты на базе использования параллельно работающих котельных агрегатов НТКС в соответствии со сформулированным выше критерием. Благодаря этой методике становится возможным определять рациональный состав параллельно работающих котлов НТКС, а также их требуемые тепловые производительности в соответствии с прогнозируемым тепловым спросом абонентов. Данная методика позволяет повышать средневзвешенный КПД котельной установки в среднем на 3-5 % и таким образом экономить твердое топливо.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Адекватность данной методики оценивается на уровне до 90% в соответствии с проводимыми на математической модели тепломассообмена в котле НТКС исследованиями.

Благодаря разработанной методике становится возможным распределение задания по производительности для каждого котла НТКС в соответствии с прогнозируемым тепловым спросом. Данный факт является основой для создания прогнозной системы управления комплексом теплоснабжения шахты, что обеспечит выполнение критериев эффективной работы котлов НТКС [19], а также повышения безопасности и безаварийности эксплуатации топок НТКС.

Список литературы

1. Показатели качества углей, добытых на шахтах Украины / В.Я. Долгий [и др.] // Уголь Украины. – 1999. – № 8. – С. 18-22.
2. Simeon Oka. Fluidized Bed Combustion. – New York: CRC Press, 2004. – 616 p.
3. Протокол совместного заседания секции машиностроения, технического обслуживания ремонта горношахтного оборудования научно-технического совета Минуглепрома Украины и экспертно-консультативной группы при министре. – Донецк, 14 сентября 1999.
4. Смаль В. Остановлена добыча угля // Донецкие новости. №4. 26 января-1 февраля 2006 г.
5. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов / Ж.В. Вискин и др. – Донецк: «Новый мир», 1997. – 284 с.
6. Николаев Ю.Е. Повышение эффективности систем теплоснабжения промышленных предприятий // Промышленная энергетика. – 2005. – №1. – С. 7-9.
7. Grebenyuk G.G. Algorithms for optimization of the number of switchings in heat supply networks reconfiguration / G.G. Grebenyuk, A.A. Krygin // Automation and Remote Control, MAIK Nauka/Interperiodica. – 2008. – Vol.68. No.12. – P. 2187-2197.
8. Шалагинова З.И. Задачи и методы расчета температурных графиков отпуска тепла на основе теплогидравлического моделирования систем теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2004. – №7. – С.41-49.
9. Руководство по проектированию угольных шахт. Государственный нормативный акт об охране труда. – Киев, 1994.
10. Типовой проект организации скоростного строительства шахты производительностью 1200 тыс. т угля в год. – Москва: Углетехиздат, 1953. – 123 с.
11. Типовой проект организации строительства шахты производительностью 600 тысяч тонн угля в год. – Москва: Углетехиздат, 1953. – 123 с.
12. Дроздов В.Ф. Отопление и вентиляция: учеб. пособие для строит. вузов и фак. по спец. «Теплогазоснабжение и вентиляция». В 2-х ч. Ч.1. Отопление. – М.: Высш. шк., 1984. – 263 с.
13. Инструкция по нормированию расхода тепловой энергии в угольной промышленности ВН 12.25.009-81. В сб.: Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления. – М.: Недра, 1983.
14. Ткаченко А.Е. Синтез динамической модели котельного агрегата низкотемпературного кипящего слоя / А.Е. Ткаченко, Б.В. Гавриленко // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: Сб. науч. тр. XV науч.-техн. конф. аспирантов и студентов в г. Донецке, 20-22 мая 2015. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – С. 195-198.
15. Computer models of heat supply networks and circulating systems / V.V. Dikop [et al.] // Thermal Engineering, MAIK Nauka/Interperiodica. – 2008. – Vol.53, No.8. – P. 655-658.
16. Гавриленко Б.В. Синтез математической модели топки кипящего слоя шахтного воздухоподогревателя при нестационарных условиях для задач автоматического управления / Б.В. Гавриленко, С.В. Неежмаков // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2010. – Вип.57. – С. 164-173.
17. Ткаченко А.Е. Обоснование критерия управления рациональным режимом работы группы котлоагрегатов низкотемпературного кипящего слоя // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сб. науч. тр. по материалам межд. заоч. науч.-практ. конф. – №7, Ч.3. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2015. – С. 58-61.
18. Токарев О.В. Критерии оптимальной совокупной работы топок низкотемпературного кипящего слоя на тепловую сеть / О.В. Токарев, А.Е. Ткаченко // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых: Сб. науч. тр. XV науч.-техн. конф. аспирантов и студентов в г. Донецке, 20-22 мая 2015. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – С. 199-202.
19. Ткаченко А.Е. Особенности системы автоматического управления шахтными котельными установками / А.Е. Ткаченко, О.В. Токарев // XVI Межд. молодежная конф. «Севергеоэкотех-2015»: Материалы конференции 25-27 марта 2015 г. В 6 ч. Ч.1. – Ухта: УГТУ, 2015. – С. 92-93.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

A.E. Tkachenko
Donetsk National Technical University (Donetsk)

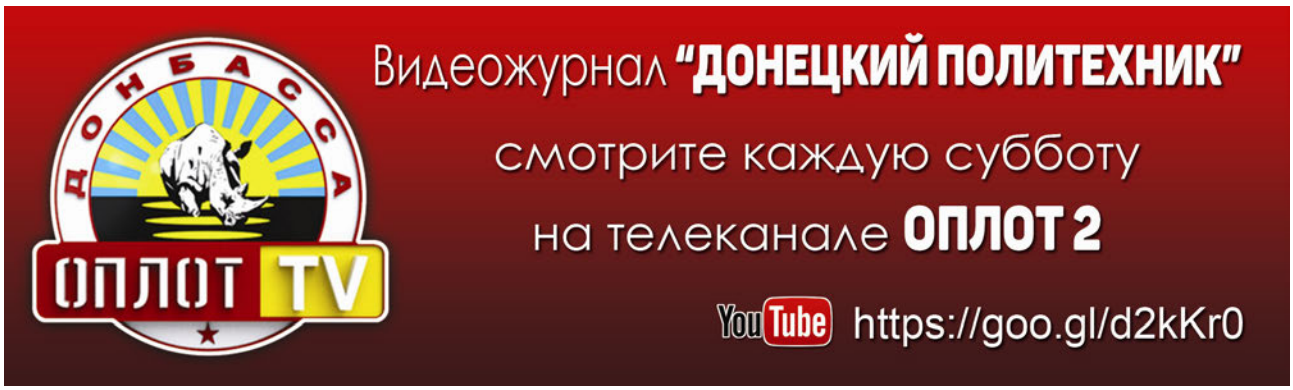
IMPROVING THE EFFICIENCY OF MINE COMPLEX OF HEAT SUPPLY OPERATING SIMULTANEOUSLY WITH BOILER UNITS OF LTFB ON HEATING NETWORKS

Background. *Currently, energy savings are the topical issues, since there are cases of considerable heat loss in its production as well as its distribution among the consumers. There is also the problem of decrease in quality of solid fuel. The introduction on the mines of heating with boiler units of furnaces with low-temperature fluidized bed allows solving both of these problems. In this case, the current task is the development of the methodology for calculating the effective operation of the group of boilers of low-temperature fluidized bed depending on the heat demand, which includes the determination of a reasonable group of boiler units and the performance of each of them.*
Materials and/or methods. *Recent papers dedicated to improving the efficiency of heating systems studied. Technological features of simultaneous operation of boiler low-temperature fluidized bed on heating network investigated. Computer modeling techniques and the results of regime-adjustment tests used.*
Results. *The optimal scheme of heat supply of the mine on the basis of the group of boiler units of low-temperature fluidized bed as the heat sources operating simultaneously on the heating network proposed. The algorithm of the effectiveness of the complex of a heat supply of the mines proposed. The criterion for the efficient operation of the heat sources justified. The method developed for calculating the performance of a reasonable group of boilers, the results of which is the basis for the work of a prognostic system for heat supply management of the mine.*
Conclusion. *Development and implementation of calculation technique for the efficient operation of boiler units of low-temperature fluidized bed within the heating complex of a mine will significantly improve its economic efficiency. This technique allows increasing the weighted average efficiency of the boiler unit of the mine by 3-5 %, the adequacy of up to 90 %.*

Keywords: *LTFB boiler unit, heat supply complex, productivity, efficiency, technique.*

Сведения об авторе
А.Е. Ткаченко
SPIN-код: 8293-6065
Orcid ID: 0000-0002-4731-5021
Телефон: +380 (50) 640-79-26
Эл. почта: anica@mail.ru

Статья поступила 24.07.2016 г.
© А.Е. Ткаченко, 2016
Рецензент д.т.н., проф. С.П. Еронько



ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 662.74

А.Б. Бирюков /д.т.н./, С.П. Еронько /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)
С.В. Конопля
ПАО «Ясиноватский машиностроительный завод» (Ясиноватая)

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ НЕФУТЕРОВАННЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ ПО СМЕШАННОЙ СХЕМЕ

Предложена концепция слоевого газогенератора для производства генераторного газа из угля по смешанной схеме на базе нефутерованного водоохлаждаемого реактора. Выполнены предварительные расчетные оценки среднего по поверхности реактора коэффициента теплопередачи к кипящей воде; доли теплоты, отводимой к воде, относительно общего потока энергии с произведенным газом. Установлено, что для реакторов с диаметром один метр доля отводимой к воде теплоты будет составлять около 4% от мощности газогенератора. Обосновано, что при полной загрузке газогенератора весь пар, произведенный за счет отвода теплоты к кипящей воде, будет использован для формирования паровоздушного дутья.

***Ключевые слова**: каменный уголь, генераторный газ, смешанная схема газификации, водоохлаждаемый реактор.*

Постановка проблемы

Совершенно очевидно, что в условиях Донбасса необходимо расширять использование собственных каменных углей, в том числе и за счет применения технологий газификации угля.

В этой области в мировой практике достигнуты серьезные положительные результаты. Так, в СССР до середины 50-х годов практически все газообразное топливо для металлургии производилось в слоевых газогенераторах. После начала освоения природного газа развитие технологий газификации в СССР в промышленном масштабе остановилось, однако оно продолжалось за рубежом. Лидерами в этой области в настоящее время являются Германия, США, ЮАР [1].

Возможные варианты организации процесса газификации в газогенераторах многообразны как в плане использования различных сред для неполного окисления горючей массы топлива, так и в плане аэродинамических схем взаимодействия топлива и окислителя [2].

В зависимости от состава дутья генераторные газы разделяют на четыре группы [3]:

– воздушный газ (полученный при использовании в качестве дутья только атмосферного воздуха);

– водяной (в качестве дутья используется только водяной пар);

– смешанный (в качестве дутья используется смесь атмосферного воздуха и водяного пара);

– парокислородный (в качестве дутья используется смесь технического кислорода и водяного пара).

Возможные варианты аэродинамического взаимодействия топлива и окислителя:

– газификация в плотном слое;

– газификация в кипящем слое;

– газификация во взвешенном слое.

В зависимости от давления процесса различают газификацию при давлениях близких к атмосферному и газификацию под высоким избыточным давлением.

Анализ последних исследований и публикаций

Преимущества, недостатки и особенности всех возможных вариантов газификации детально рассмотрены в литературных источниках [1,2]. Так, наибольшая интенсивность переработки достигается при использовании кипящего и взвешенного слоя, наиболее высокие теплоты сгорания газа будут получены при применении парокислородного дутья. Однако наиболее простые технические решения соответствуют слоевой газификации угля при использовании смешанного дутья.

Анализ технических и технико-экономических аспектов проектирования, будущего испытания, доводки и промышленной эксплуатации газогенераторов в условиях малой энергетики Донбасса показал, что на ближайшую перспективу имеет смысл сконцентрировать усилия на разработке газогенераторов плотного слоя, использующих смешанное (паровоздушное) дутье, поскольку для этого потребуются сравнительно более простые конструктивные и технологические решения и можно ожидать более быстрое получение положительных результатов. В мето-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

дическом плане расчетная база для расчета газификации по такой схеме проработана в работах [2,4]. Возможные варианты производства пара для формирования смешанного дутья рассмотрены в работе [5].

Технологическая сторона газификации угля по смешанной схеме представлена в работах [6,7]. При проектировании нового оборудования ставится задача создания технологичных, ремонтопригодных реакторов с как можно более выгодными массогабаритными показателями. Известно, что в ряде случаев в иностранной практике используются нефутерованные водоохлаждаемые реакторы [1]. Однако получить из литературных источников информацию о том, в каких случаях применение таких реакторов возможно и каковы показатели их эксплуатации, затруднительно.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является предварительный анализ возможности и целесообразности применения водоохлаждаемых нефутерованных реакторов для газификации угля по смешанной схеме.

Основной материал исследования

Для рассмотрения выбрана концепция слоевого газификатора угля, способного перерабатывать угли любой марки, разработанная коллективом авторов Донецкого национального технического университета и согласованная со специалистами Ясиноватского машиностроительного завода.

Процесс газификации угля протекает в реакторе, образованном цилиндрической стальной нефутерованной обечайкой 1 (см. рис. 1), к которой в нижней части приварена конусная часть. Для отвода избыточного тепла от реактора он окружен рубашкой охлаждения 2, в которой с низкой интенсивностью протекает кипение воды. Снаружи обечайка рубашки охлаждения окружена слоем теплоизоляции 3. Для формирования окислительной смеси используются вентилятор 4 и эжектор 5. Вентилятор подает заданное количество воздуха на эжектор, в котором происходит подсасывание воздухом необходимого количества водяного пара из парового пространства рубашки и их смешение в смесителе и диффузоре эжектора. Избытки пара отводятся через один из выходов трехходового крана 6. Сформированная окислительная смесь подается на дутьевой коллектор 7, из которого через сопла 8 распределяется в нижний конус реактора. При этом окислительная смесь нагревается, отбирая избыточное тепло от золы перед ее удалением из установки. Газифицируемый уголь сначала попадает в промежуточный бункер 9, а оттуда вводится в реакционное пространство при помощи загрузочного шнека 10, который наряду с дозированием угля выполняет функцию уплотнения установки. Во избежание спекания угля в зоне полукоксования в слой материала погружена мешалка 11, которая непрерывно вращается с небольшой частотой. На рис. 1 мешалка показана условно, так как уточнение ее конструкции можно будет провести только по результатам опытно-промышленных испытаний. Выгрузка золя из нижней конусной части реактора производится при помощи вращающейся улитки 12 и шнека 13. При этом шнек выполняет функции измельчения золы и уплотнения установки. Готовый генераторный газ покидает установку через патрубок 14 и отправляется на блок очистки. Образующийся в рубашке охлаждения шлам сливается через спускной кран 15.

Необходимо сделать предварительные оценки количества производимого пара и долю теплового потока, отводимого через стенки реактора, от количества энергии, отдаваемой с произведенным газом.

Количество теплоты, передаваемой в стационарном режиме из реакционного пространства к кипящей воде, определяется при помощи уравнения теплопередачи:

$$Q = k_{ср} F \Delta t_{ср}, \qquad (1)$$

где $k_{ср}$ – среднее значение коэффициента теплопередачи по наружной поверхности реактора, Вт/(м^2·К); F – площадь поверхности реактора, граничащей с рубашкой охлаждения, м^2; $\Delta t_{ср}$ – средний по наружной поверхности реактора температурный перепад между реакционным пространством и охлаждающей средой, °С.

Площадь поверхности реактора определяется в зависимости от его диаметра $D_{ср}$ и высоты H:

$$F = \pi D_{ср} H .$$

При этом $D_{ср}$ определяется как:

$$D_{ср} = D_{вн} + 0{,}5\delta ,$$

где $D_{вн}$ – внутренний диаметр реактора, м; δ – толщина обечайки реактора, м.

Для технологии слоевой газификации при давлениях, близких к атмосферному, рациональное значение высоты H составляет 1-1,2 м.

Определение среднего значения коэффициента теплопередачи расчетным способом пред-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

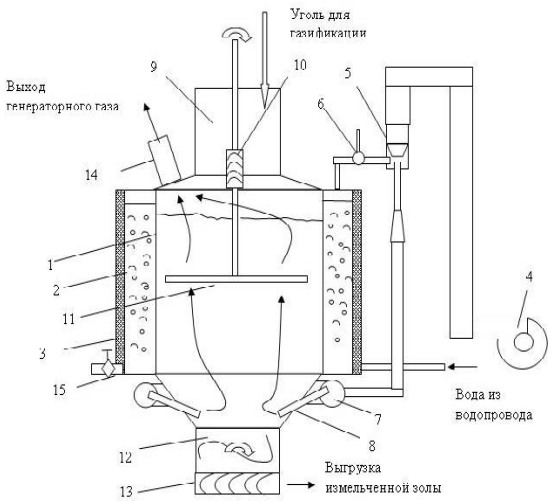


Рис. 1. Предварительная компоновка опытно-промышленной установки газификации угля: *1* – обечайка реактора; *2* –рубашка охлаждения; *3* – слой наружной теплоизоляции; *4* – дутьевой вентилятор; *5* – эжектор; *6* – трехходовой кран для спуска избытков пара; *7* – дутьевой коллектор; *8* – сопла для ввода окислителя; *9* – промежуточный бункер угля; *10* – загрузочный шнек; *11* – мешалка; *12* – разгрузочная улитка; *13* – разгрузочный шнек; *14* – патрубок для выхода генераторного газа; *15* – кран для слива шлама

ставляет собой сложную задачу, так как апробированных расчетных методик, описывающих теплообмен через наружные стенки нефутерованного реактора при медленном сходе твердой шихты, в открытом доступе нет.

В данной работе приближенные оценки значения этой величины выполнены исходя из следующих соображений:

– на пути отвода теплоты из реакционного пространства имеются следующие термические сопротивления: сопротивление отдаче теплоты к внутренней поверхности реактора, сопротивление теплопроводности стенки реактора, сопротивление конвективной отдаче теплоты к кипящей воде. Основным (и на несколько порядков большим других) термическим сопротивлением отводу теплоты из реакционного пространства к кипящей воде является сопротивление отдаче теплоты к внутренней поверхности реактора. Согласно известному в теплотехнике принципу в этом случае коэффициент теплопередачи может быть принят равным коэффициенту теплоотдачи к внутренней поверхности реактора $k_{ср}=\alpha_{вн}$;

– часть внутренней поверхности реактора непосредственно контактирует с кусками угля, а часть – через газовую прослойку. Эти процессы характеризуются соответствующими условными коэффициентами теплоотдачи $\alpha_к$ и $\alpha_г$;

– в первом приближении доли внутренней поверхности, воспринимающие теплоту по различным механизмам, принимаем по 0,5.

Тогда среднее значение коэффициента теплопередачи по наружной поверхности реактора определяется как:

$$k_{ср} = \alpha_{вн} = 0{,}5\alpha_к + 0{,}5\alpha_г . \qquad (2)$$

Рассматривается фракция угля 6-40 мм. Средний размер куска $\delta_{ср}$ принят 23 мм. Условный коэффициент теплоотдачи для контактного механизма определяется как:

$$\alpha_к = \frac{\lambda_у}{\delta_{ср}}, \qquad (3)$$

где $\lambda_у$ – коэффициент теплопроводности материала угля (принят равным 1), Вт/(м·К).

Тогда

$$\alpha_к = \frac{\lambda}{\delta_{ср}} = \frac{1}{0{,}023} = 43{,}4\,\text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Условный коэффициент теплоотдачи для механизма передачи теплоты через зазор определяется как:

$$\alpha_г = \frac{\lambda_г}{\delta_з}, \qquad (4)$$

где $\lambda_г$ – коэффициент теплопроводности газовой прослойки, Вт/(м·К); $\delta_з$ – среднее значение толщины газового зазора между кусками угля и внутренней поверхностью обечайки реактора, м.

Принимая с учетом среднего состава газовой среды в полости реактора и геометрии кусков угля значения $\lambda_г$=0,0622 Вт/(м·К) и $\delta_з$=0,002 м, получим $\alpha_г$=31,1 Вт/(м^2·К).

Тогда

$$k_{ср} = \alpha_{вн} = 0{,}5\alpha_к + 0{,}5\alpha_г = 0{,}5\cdot 43{,}4 + $$
$$+ 0{,}5\cdot 31{,}1 = 37{,}25\,\text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Средний по наружной поверхности реактора температурный перепад между реакционным пространством и охлаждающей средой определен исходя из значения температуры воды, кипящей в рубашке охлаждения, 100 °С и температурного распределения по зонам газификации, контактирующим с рубашкой охлаждения (рис. 2):

– окислительная зона (II) 1000-1300 °С;

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

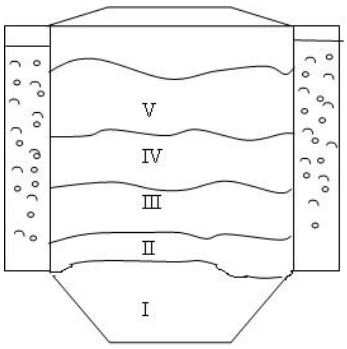


Рис. 2. Местоположение характерных зон протекания процесса газификации каменного угля: *I* – зона золы; *II* – окислительная зона; *III* – восстановительная зона; *IV* – зона полукоксования; *V* – зона подсушки топлива

– восстановительная зона (III) 700-1200 °С;
– зона полукоксования (IV) 300-700 °С;
– зона сушки (V) 100-300 °С.

Для расчетной оценки принято линейное изменение температуры по зонам II-IV от 1200 °С в окислительной зоне реактора до 100 °С на поверхности угля в зоне подсушивания. Таким образом, среднее значение температурного перепада определено как: (1200+100)/2–100=550 °С.

Для того чтобы уменьшить негативное влияние захолаживания объема реактора через рубашку охлаждения, внутренний диаметр реактора рекомендовано выбрать порядка одного метра. Таким образом, принимая для предварительных оценок значения геометрических параметров реактора газификации H=1 м, $D_{ср}$=1 м, при помощи зависимостей (1)-(4) получим значение теплового потока к кипящей воде Q=64 кВт.

Для слоевого реактора с небольшим поперечным сечением показатель достигаемой производительности по углю составляет порядка 500 кг с 1 м^2 полезной площади реактора в поперечном сечении в час. Даже в случае переработки высокозольного угля (A^p=30-35 %) и при достаточно низком удельном выходе смешанного генераторного газа (например, 2,5 м^3 газа с теплотой сгорания 5,5 МДж/м^3 с одного килограмма угля) мощность газогенератора с химической энергией производимого газа составит 1,5 МВт. Таким образом, доля теплоты, отводимой к кипящей воде, при полной загрузке газификатора составит 4,3 % от мощности по производимой энергии газа. Естественно, при снижении производительности газификатора доля энергии, отводимой к кипящей воде, будет возрастать.

При восприятии кипящей водой мощности 64 кВт будет образовываться 0,026 кг пара в секунду. При этом при полной загрузке газификатора удельный выход пара на один килограмм газифицируемого угля будет составлять 0,24 кг. Таким образом, при полной загрузке газификатора весь произведенный пар будет использован для формирования смешанного паровоздушного дутья (типичный диапазон удельного расхода пара составляет 0,2-0,5 кг пара/кг угля).

Выводы

1. Предложена концепция слоевого газификатора угля, способного перерабатывать угли любой марки, разработанная коллективом авторов Донецкого национального технического университета и согласованная со специалистами Ясиноватского машиностроительного завода, использующая нефутерованный водоохлаждаемый реактор.

2. Предварительные расчетные оценки показывают, что при использовании для слоевой газификации угля по смешанной схеме водоохлаждаемых нефутерованных реакторов ожидаемое значение коэффициента теплопередачи к кипящей воде составляет порядка 40 Вт/(м^2·К).

3. Для реакторов с диаметром один метр прогнозируется, что доля теплоты, отводимой к кипящей воде, будет составлять около 4% от мощности газогенератора по производимой химической энергии генераторного газа.

4. При полной загрузке газогенератора весь пар, произведенный за счет отвода теплоты к кипящей воде, будет использован для формирования паровоздушного дутья.

Список литературы

1. Шиллинг Г.-Д. Газификация угля / Г.-Д. Шиллинг, Б. Бонн, У. Краус. – М.: Недра, 1968. – 175 с.
2. Основы практической теории горения: учебное пособие для вузов / В.В. Померанцев [и др.]. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отдние, 1986. – 312 с.
3. Бирюков А.Б. Сжигание и термическая переработка органических топлив / А.Б. Бирюков, И.П. Дробышевская, Ю.В. Рубан. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2014. – 232 с.
4. Бирюков А.Б. Методика расчета и исследование процесса газификации твердого топлива по смешанной схеме // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – №3. – С. 115-119.
5. Сафьянц С.М. Разработка и анализ способов получения пара для формирования паровоздушного дутья в системах производства смешанного генераторного газа / С.М. Сафьянц, А.Б. Бирюков, А.С. Сафьянц // Металлургическая теплотехника: сб. науч. тр. – Днепропетровск: Новая идеология, 2014. –

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Вып.6(21). – С. 58-65.
6. Yoshikawa K. High-Temperature Gasification of Solid Fuels / SAE Technical Paper. – 1999. – №1. – P. 1-7.
7. A parametric study on coal gasification for the production of syngas / A. Gungor [et al.] // Chemical Papers. – 2012. – Vol.66. – P. 677-683.

A.B. Biryukov /Dr. Sci. (Eng.), S.P. Eron'ko /Dr. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)
S.V. Konoplya
Yasinovatskiy Machine Building Plant (Yasinovataya)

APPLICATION OF WATER-COOLED UNLINED REACTORS FOR THE GASIFICATION OF COAL ACCORDING TO A MIXED SCHEME

Background. *When designing new gas generators, the task is to create technological and maintainable reactors. In large measure, this problem is solved through the use of unlined water-cooled reactors, which in some cases are used in foreign practice. Since there is no detailed information on the features and operation of such reactors in the literature, the aim of this paper is a preliminary analysis of the possibility and feasibility of using water-cooled unlined reactors for coal gasification according to a mixed scheme. In this case, the purpose was in creating a workable and maintainable gas generator of the power to 2 MW with the best possible dimensions and weight, which is able to process coal of any grade and designed to meet the needs of small power engineering.*

Materials and/or methods. *To perform preliminary estimates of the heat transfer to boiling water coefficient average on the surface of the reactor and the amount of the exhaust heat the assumption was made that the heat transfer coefficient can be equal to the coefficient of heat transfer to the inner surface of the reactor* $\bar{k} = \alpha_{вн}$ *; some part of the inner surface of the reactor directly contacts with coal pieces, another part – through the gas layer, these processes are characterized by the corresponding conventional coefficients of heat transfer* $\alpha_к$ *and* $\alpha_г$*, and share of internal surface that receives heat by different mechanisms taken 0.5. Standard dependencies for stationary heat transfer from one medium to another through a separation wall used for calculations.*

Results. *The results showed that when using water-cooled unlined reactors for coal gasification according to a mixed scheme the expected value of the coefficient of heat transfer to boiling water is about 40 W/(m*^{2}*·K). It is shown that for reactors with a diameter of one meter, the proportion of exhaust to water heat is about 4 % of the gas generator power. Considering the thermal power of the gas generator and discharge coefficients on air and steam for the formation of the blast, this amount of heat corresponds to the amount of energy needed to obtain the given quantity of steam.*

Conclusion. *Thus, by calculations, it is proved that at full load of the gas generator the steam produced due to heat exhaust to the boiling water will be used for the formation of a steam blast, which is a serious argument in favor of creating unlined water-cooled reactors for gasification of coal according to a mixed scheme.*

Keywords: *coal, generator gas, a mixed scheme of gasification, water-cooled reactor.*

Сведения об авторах

А.Б. Бирюков
SPIN-код: 3186-0680
Orcid ID: 0000-0002-8146-2017
AuthorID: 811777
Телефон: +380 (50) 260-97-75
Эл. почта: birukov.ttf@gmail.com

С.В. Конопля
Телефон: +380 (50) 478-78-66
Эл. почта: slen2012@mail.ru

С.П. Еронько
SPIN-код: 5911-0900
Orcid ID: 0000-0002-5806-4723
Телефон: +380 (50) 472-27-49
Эл. почта: ersp@meta.ua

Статья поступила 24.07.2016 г.
© А.Б. Бирюков, С.П. Еронько, С.В. Конопля, 2016
Рецензент д.х.н., проф. Л.Ф. Бутузова

УДК 621.774.3

С.П. Еронько /д.т.н./, Е.В. Ошовская /к.т.н./, С.В. Мечик, О.А. Ковалева
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)
Е.А. Лоза /к.т.н./
АО «Азимут» (Москва)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ КЛИНОВЫМИ НОЖАМИ

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса резки тонкостенных труб клиновыми ножами. Полученные данные использованы при разработке конструкций малогабаритных ножниц, обеспечивающих порезку труб на мерные длины без смятия торцовых поверхностей.

Ключевые слова: *труба, смятие, клиновой нож, сила реза, тензометрический преобразователь*

Постановка проблемы

В современных экономических условиях выпускаемый трубный прокат должен не только отвечать высоким требованиям, предъявляемым к механическим свойствам его материала, но и иметь товарный вид, оцениваемый рядом критериев, одним из которых является состояние торцовых поверхностей порезанных труб. Высокопроизводительные способы разделки на мерные длины сложных прокатных профилей зачастую не обеспечивают надлежащего качества реза, что особо остро проявляется в условиях получения тонкостенных труб, используемых для изготовления элементов офисной и бытовой мебели. Наличие торцовых вмятин требует предварительного их удаления, что влечет за собой дополнительные материальные издержки.

Для устранения указанных отрицательных факторов необходима разработка новых конструкций эффективных устройств, обеспечивающих резку сложных тонкостенных профилей без образования различного рода дефектов на торцовых частях получаемых мерных заготовок.

Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время тонкостенные трубы малого и среднего диаметра (до 60 мм) разрезают на мерные длины пилами, абразивными кругами или профилированными ножами. Практика использования различных режущих систем показала, что до настоящего времени не удалось разработать конструкцию устройства, которое бы одновременно позволяло с требуемой скоростью разделять тонкостенный профиль на мерную заготовку и исключало образование различного рода дефектов на ее торцовой части (смятие, задиры, заусенцы). Так при порезке проката пилами и абразивными кругами обеспечивается приемлемое качество торцовых поверхностей, но длительность выполняемой операции в данном случае является фактором, сдерживающим применение указанных систем в поточных линиях сварочных и гибочных станов [1,2]. С другой стороны, высокоскоростная резка трубного проката плоскими и профилированными ножами на летучих ножницах сопряжена с ухудшением товарного вида получаемой продукции из-за деформации торцовых частей мерных изделий [3]. Поэтому публикации последних лет, посвященные данной проблеме, содержат результаты исследований, связанных с поиском технических решений, позволяющих устранить или ослабить негативное влияние отмеченных факторов на технико-экономические показатели процесса резки проката с криволинейным профилем. Следует отметить, что особое внимание специалистами уделялось разработке теоретических положений, описывающих энергосиловые параметры изучаемого процесса [4-7], а также методик проведения экспериментов, позволяющих выполнить опытным путем проверку правильности получаемых расчетных данных [8].

Цель (задачи) исследования

Целью проведенных исследований была теоретическая оценка и экспериментальная проверка влияния формы, геометрических параметров и скорости движения клинового ножа на усилие резки тонкостенных труб и выдача практических рекомендаций по проектированию высокоэффективных малогабаритных ножниц, обеспечивающих бездефектное разделение на мерные длины трубного проката.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

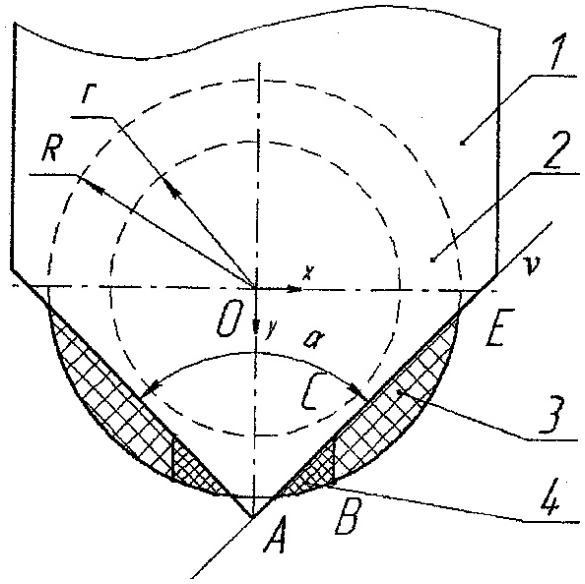


Рис. 1. Расчетная схема очага реза трубы при использовании клиновидного ножа:
1 – клиновидный нож; *2* – поперечное сечение трубы; *3* – очаг реза; *4* – участок очага, на котором происходит скол металла

Основной материал исследования

Для получения зависимости, позволяющей выполнить расчет усилий резания трубы вертикальным ножом с углом клиновидности α, воспользуемся схемой, показанной на рис.1 и отображающей относительное положение режущего инструмента и поперечного сечения трубного проката в заключительной стадии процесса его разделения на части. В соответствии с методикой определения усилия резания наклонными ножами, описанной в работе [9], искомая сила определяется по формуле:

$$P = k_1 k_2 k_3 \sigma_B F_{рез},$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий отношение максимального сопротивления срезу к пределу прочности; k_2 – коэффициент, учитывающий увеличение усилия резания при затуплении ножей; k_3 – коэффициент, учитывающий увеличение усилия резания из-за наличия бокового зазора между ножами; σ_B – предел прочности материала разрезаемой трубы, МПа; $F_{рез}$ – площадь сечения трубы в момент начала сдвига металла, мм^2.

На основании практических данных можно принимать следующие значения приведенных коэффициентов: k_1=0,6-0,7; k_2=1,15-1,25; k_3= =1,2-1,3.

При этом собственно резание (сдвиг) металла происходит по сечению *BCE*, поскольку по линии *BC* наступает его отрыв (скалывание).

Находим абсциссы точек *A* и *E*:

$$x_A = r \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) - \sqrt{\frac{R^2}{2} - r^2 \cdot \cos^2\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)};$$

$$x_E = r \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) + \sqrt{\frac{R^2}{2} - r^2 \cdot \cos^2\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)},$$

где R – наружный радиус трубы; r – внутренний радиус трубы.

Момент окончания собственно резания и начала отрыва (скалывания) характеризуется коэффициентом надреза ε_H, равным отношению глубины внедрения ножа в конце резания (начало отрыва) к исходной высоте сечения металла (рис. 1):

$$\varepsilon_H = \frac{y_C - y_E}{y_A - y_E},$$

где y_C, y_A, y_E – соответствующие ординаты точек *C*, *A*, *E* в системе координат с центром в точке *O*.

Значение x_C можно определить из равенства отношений сходственных сторон подобных треугольников, приняв значение ε_H=0,3-0,4:

$$\varepsilon_H = \frac{x_E - x_C}{x_E - x_A},$$

$$x_C = x_E - \varepsilon_H (x_E - x_A).$$

При разделении трубы клиновидным ножом сопротивление резанию оказывает не вся площадь ее поперечного сечения, а только часть, форма и размеры которой при одинаковом перемещении режущих кромок постоянно изменяются. В качестве примера на рис. 2 показана схема разбиения площади поперечного сечения трубы с наружным диаметром 30 мм и внутренним диаметром 26 мм при дискретном перемещении клинового ножа с шагом Δ=2,5 мм.

Для нахождения площадей сечения трубы, подверженных сдвигу при переходе вертикального режущего ножа из одного положения в следующее, можно использовать одну из функций САПР «КОМПАС», которая позволяет с высокой точностью получить нужную расчетную информацию для любых диаметров труб с различными толщинами стенок и заданной ширины режущего ножа.

По полученным текущим значениям площади срезаемого сечения трубы с использованием приведенной выше зависимости рассчитывают соответствующие силовые нагрузки, преодоле-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

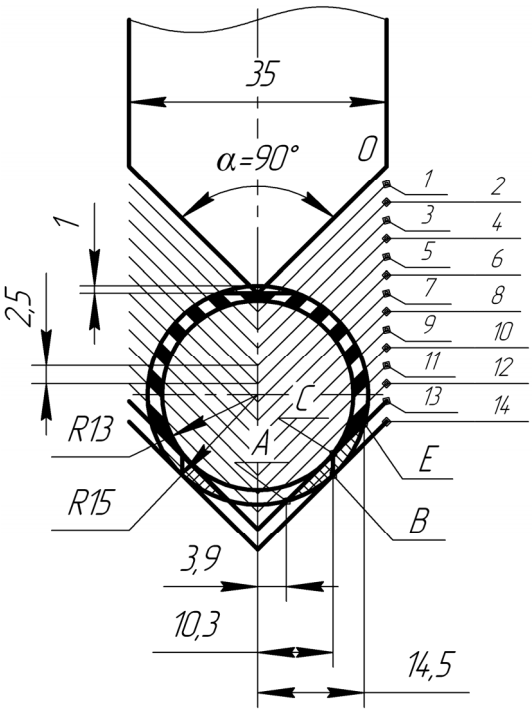


Рис. 2. Расчетная схема для определения площади срезаемого элемента в поперечном сечении трубы при пошаговом перемещении клинового ножа

ваемые приводом ножниц в процессе разделения проката. На рис. 3 приведен график изменения силы резания трубы в зависимости от вертикального перемещения клинового ножа, построенный по расчетным данным в соответствии со схемой, показанной на рис. 2.

Для оценки корректности расчетных данных выполнили их экспериментальную проверку по методике, подробно описанной в работе [8]. Лабораторный эксперимент проводили на испытательном стенде, включавшем ударный и режущий механизмы (фото на рис. 4). Силу, необходимую для разделения трубы на мерные длины, задавали массивным молотом, подвешиваемым над режущим механизмом через блок на фиксированной высоте и сбрасываемым в нужный момент времени. Благодаря такому конструктивному исполнению стенда обеспечивали варьирование в широких пределах характеристики ударного импульса за счет изменения скорости падающего молота в момент его силового контакта с суппортом подвижного клинового ножа.

Для опытной резки использовали алюминиевые и стальные трубки диаметром 12 мм с толщиной стенок 1 мм и три типа клиновых ножей, угол заточки которых соответственно составлял 85°, 90° и 95°. Провели две серии опытов для сопоставления состояния торцовых поверхностей трубок, разрезаемых клиновым ножом по традиционной схеме и с применением предварительного надреза стенки трубы в зоне начала внедрения режущего инструмента.

На полученных графиках изменения усилия резания во времени (рис. 6б) можно выделить участки, соответствующие трем периодам процесса разделения трубного проката на части: началу внедрения ножа в тело трубы, сдвигу металла по плоскости резания и скалыванию (отрыву) оставшейся неразрезанной части сечения трубы.

Сопоставление расчетных значений силы резания с экспериментальными данными показало, что максимальное расхождение между ними не превышало 15 %, т.е. предложенная методика определения энергосиловых параметров процесса резки труб клиновыми ножами приемлема для выполнения инженерных расчетов. Результаты анализа полученной информации свидетельствуют о необходимости применения схемы комбинированной резки тонкостенных труб с предварительным ослаблением сечения трубы в месте внедрения клинового ножа. В противном случае независимо от геометрических особенностей режущего инструмента торцовая часть трубы будет сминаться. Для сравнения на рис. 7 приведены фотографии образцов тонкостенных труб, разделенных по одно- и двухстадийной схемах резки.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований были использованы при разработке усовершенствованной конструкции малогабаритных ножниц, обеспечивающих качественную двухстадийную резку тонкостенных труб и снабженных основным и вспомогательным режущими механизмами, синхронно работающими от одного привода. Предложенная конструкция ножниц показана на рис. 8.

Ножницы содержат нижнюю плиту 6, несущую вертикальные боковые стенки 9, жестко связанные между собой резьбовыми соединениями и образующие коробчатую конструкцию.

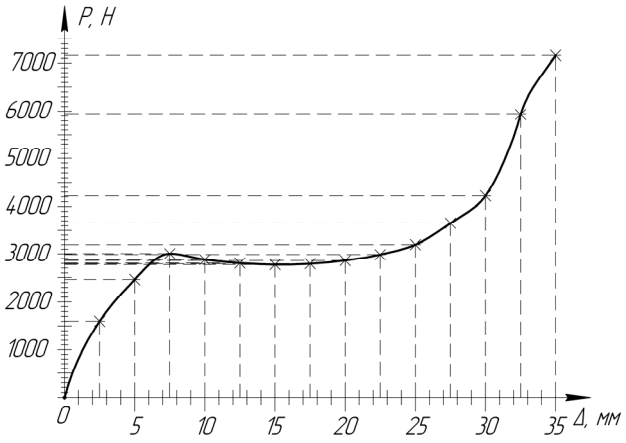
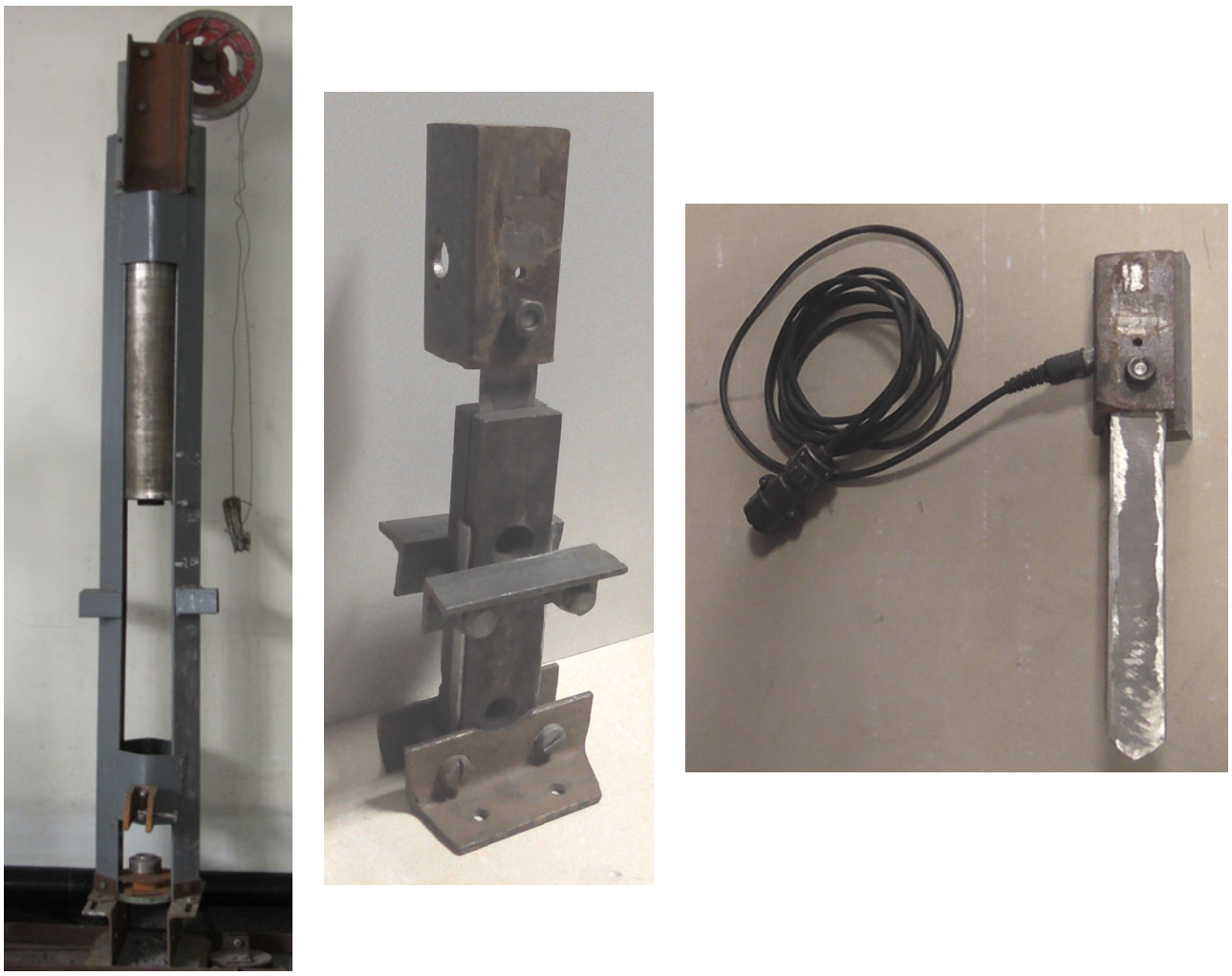


Рис. 3. График зависимости $P = f(\Delta)$

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



а б в

Рис. 4. Лабораторная установка, использовавшаяся для проведения экспериментальных исследований процесса резки труб:
а – ударная система; *б* – режущий механизм; *в* – клиновидный нож

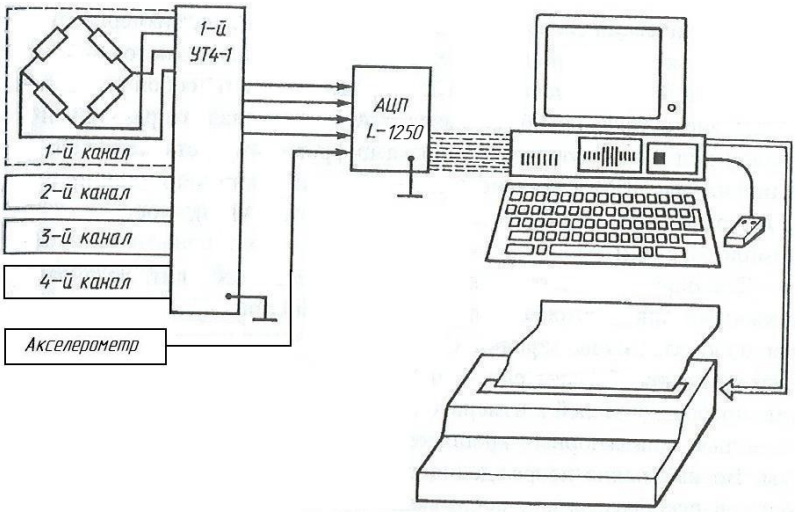
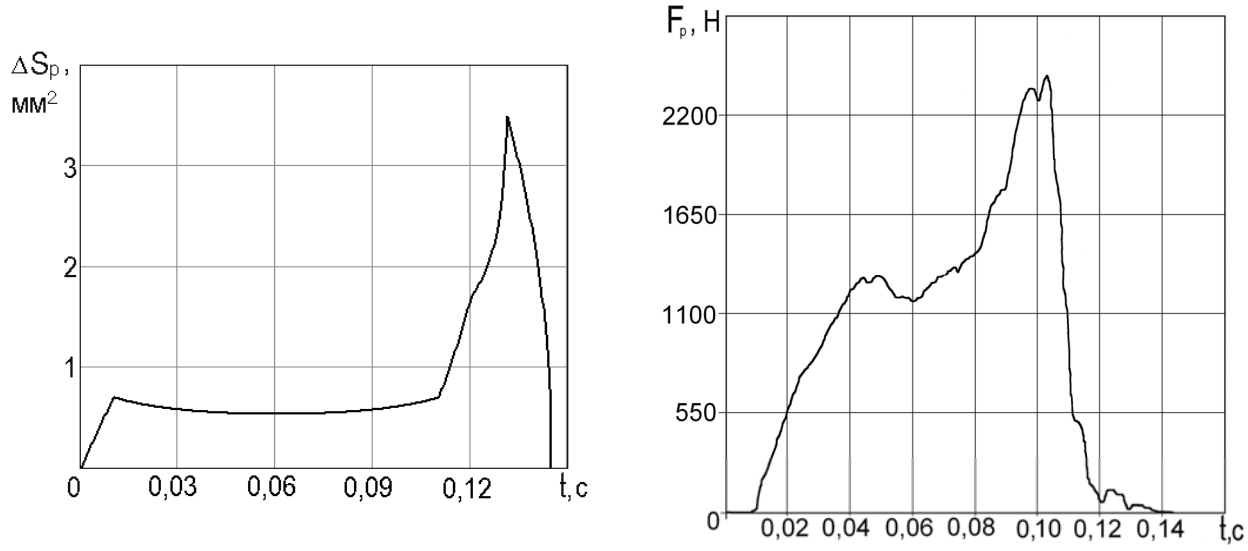


Рис. 5. Контрольно-измерительный комплекс для фиксации силы резания трубы

Внутри этой конструкции размещены две пары ножей-зажимов 7 и 8, направляющие вертикального суппорта, несущего клиновой отрезной нож 3 и закрепленные по бокам две пары клиновых зажимов 1. На плите размещен вал-шестерня 10, установленный в подшипниковых опорах 5 и снабженный центральным и двумя боковыми зубчатыми колесами. При этом делительные

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



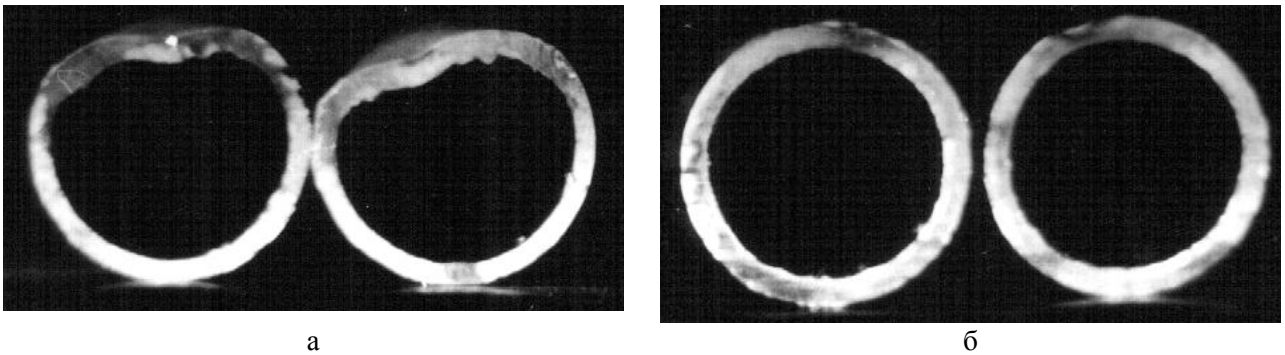
а б

Рис. 6. Изменение в процессе разделения алюминиевой трубки площади срезаемого сечения (*а*) и силы сопротивления, преодолеваемой клиновым ножом (*б*)

диаметры центрального и боковых зубчатых колес соотносятся как 1,5: 1. Центральное зубчатое колесо вала-шестерни находится в зацеплении с горизонтально расположенной зубчатой рейкой 11, несущей на переднем конце подрезной нож и имеющей возможность перемещения в направляющих. Непосредственно за подрезным ножом в теле рейки выполнен продольный паз для прохода вертикального ножа 3. Боковые зубчатые колеса вала-шестерни зацепляются с двумя, симметрично расположенными вертикальными зубчатыми рейками 4, верхние концы которых неподвижно связаны с суппортом.

Ножницы содержат нижнюю плиту 6, несущую вертикальные боковые стенки 9, жестко связанные между собой резьбовыми соединениями и образующие коробчатую конструкцию. Внутри этой конструкции размещены две пары ножей-зажимов 7 и 8, направляющие вертикального суппорта, несущего клиновой отрезной нож 3 и закрепленные по бокам две пары клиновых зажимов 1. На плите размещен вал-шестерня 10, установленный в подшипниковых опорах 5 и снабженный центральным и двумя боковыми зубчатыми колесами. При этом делительные диаметры центрального и боковых зубчатых колес соотносятся как 1,5:1. Центральное зубчатое колесо вала-шестерни находится в зацеплении с горизонтально расположенной зубчатой рейкой 11, несущей на переднем конце подрезной нож и имеющей возможность перемещения в направляющих. Непосредственно за подрезным ножом в теле рейки выполнен продольный паз для прохода вертикального ножа 3. Боковые зубчатые колеса вала-шестерни зацепляются с двумя, симметрично расположенными вертикальными зубчатыми рейками 4, верхние концы которых неподвижно связаны с суппортом.

Принцип действия модернизируемых ножниц следующий. В исходном состоянии вертикальный нож находится в крайнем верхнем положении в направляющих корпуса ножниц, а горизонтальный нож занимает крайнее правое положение в направляющих зажима. Ножницы приводятся в движение от гидроцилиндра 1. Данный гидроцилиндр толкает суппорт 2, на



а б

Рис. 7. Виды торцевой части труб после разделения на части по одно- (*а*) и двухстадийной (*б*) схемах резки

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

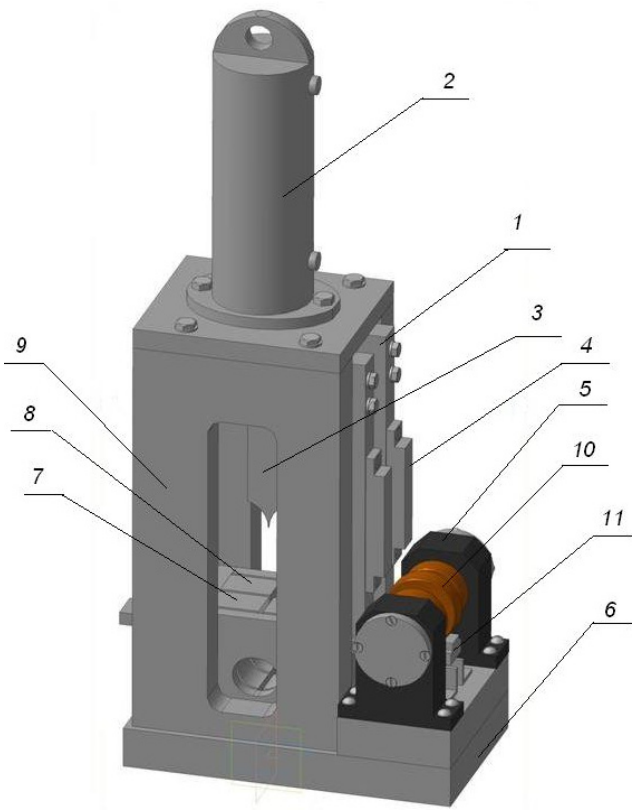


Рис. 8. Ножницы для резки тонкостенных труб на заготовки

котором размещен вертикальный нож 3 и две пары клиновых зажимов, которые перемещаются в направляющих корпуса ножниц. Расположенные на одной из пар клиновых зажимов зубчатые рейки 4 при движении суппорта вниз по направляющим приводят во вращение находящийся с ними в зацеплении вал-шестерню 5, который перемещает горизонтальную зубчатой рейку 11, несущую подрезной нож. Одновременно с этим включается механизм фиксации трубы 7, приводимый в действие четырьмя клиновым зажимами. Поскольку делительные диаметры зубчатых венцов вала-шестерни выполнены в соотношении 1:1,5, горизонтальный нож движется быстрее вертикального и делает надрез до того, как он коснется трубы и разрежет её в прослабленном сечении. При перемещении штока гидроцилиндра вверх происходит реверсирование движения горизонтальной и двух вертикальных зубчатых реек, в результате чего происходит размыкание механизма зажима трубы, а вертикальный и горизонтальный ножи занимают свое исходное положение. После уборки отрезанной части трубы система ножниц готова к выполнению следующего цикла процесса резки. Компактность конструкции усовершенствованного режущего механизма позволяет его успешно использовать в системе летучих ножниц, осуществляющих резку трубы в движении после её выхода из последней клети трубосварочного стана.

Таким образом, благодаря результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований, разработана конструкция малогабаритных гидравлических ножниц, предназначенных для качественной резки тонкостенных труб, как в условиях стационарного размещения, так и в линии трубосварочных станов.

Список литературы

1. Ищенко А.А. Пилы горячей резки проката. Конструкция и расчет: монография / А.А. Ищенко, Е.А. Лоза. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – 251 с.
2. Лоза Е.А. Исследование геометрических и энергосиловых характеристик при упрочнении пильных дисков // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. – Маріуполь. – 2012. – Вип.14. – С. 130-135.
3. Карнаух С.Г. Разработка оборудования для разделения сортового проката (труб) на мерные заготовки с приминением нитинола / С.Г. Карнаух, Д.С. Карнаух, Н.В. Чоста // Сб. научн. тр. ДГМА. – Краматорск: ДГМА. – 2015. – №2. – С. 323-326.
4. Петров П.А. Динамика усилий и моментов резания сортового металлопроката в горячем состоянии / П.А. Петров, Е.В. Полилов, Д.И. Морозов // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ. – 2009. – Вып.29. – С. 241-251.
5. Боровик П.В. Теоретическое определение силы резки ножницами фасонных профилей / П.В. Боровик, П.А. Петров // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 5. – С. 41-44.
6. Ульяницкий В.Н. Влияние формы и расположения профиля на энергосиловые параметры резки фасонного металлопроката сортовыми ножницами / В.Н. Ульяницкий, П.А. Петров // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ. – 2016. – Вып.3. – С. 149-156.
7. Расчет силы резания тонкостенных труб клиновыми ножами / С.П. Еронько [и др.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. науч. тр. – Донецк: ДонНТУ. – 2003. – Вып.24. – С. 61-66.
8 Моделирование процесса качественной резки тонкостенных труб на летучих ножницах / С.П. Еронько [и др.] // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2000. – С. 125-128.
9. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных цехов черной и цветной металлургии. – М: Металлургия, 1976. – 544 с.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

S.P. Eron'ko /Dr. Sci. (Eng.)/, E.V. Oshovskaya /Cand. Sci. (Eng.)/, S.V. Mechik, O.A. Kovaleva
Donetsk National Technical University (Donetsk)
E.A. Loza /Cand. Sci. (Eng.)/
AZIMUT (Moscow)

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF FORCE PARAMETERS DURING CUTTING OF THIN-WALLED PIPES BY WEDGE KNIVES

Background. *In the current economic conditions produced pipe metal should meet not only to the high requirements to mechanical properties of its material, but also have the presentation view, which is estimated by number of criteria, one of which is the state of end surfaces of pipes. Often high-productive methods of cutting of complicated rolled sections onto dimensional length do not provide the appropriate quality of the cut, which is particularly acute in the conditions of obtaining the thin-walled pipes.*
Materials and/or methods. *During the study of separation process of thin-walled pipes onto dimensional length by wedge knife, the known provisions of cutting theory was used, they took into account the character of change of cross section area shifted by knife at the time. The correctness assessment of the calculated data was performed by experimental method on a specially constructed laboratory sample of the cutting device which includes a striking and cutting mechanisms. Control of force loads, which occur during the cutting of pipe with given geometric parameters, was performed with load cells equipped with a strain gauge transducer. The maximum divergence between the theoretical and experimental data did not exceed 15%.*
Results. *The data obtained during the studies indicate the application necessity of a scheme of combined cutting of thin-walled pipes with preliminary weakening of pipe section in the place of the introduction of the wedge knife. Otherwise, irrespective of the geometric features of the cutting tool the pipe's end part will crumple.*
Conclusion. *The construction of compact hydraulic shears is developed based on the results of theoretical and experimental studies. The shears is designed for high-quality cutting of thin-walled pipes as in the stationary conditions of placement, as in the line of pipe-welding mills.*

Keywords: *pipe, crumpling, wedge a knife, cutting force, strain gauge transducer.*

Сведения об авторах

С.П. Еронько
SPIN-код: 5911-0900
Orcid ID: 0000-0002-5806-4723
Телефон: +380 (50) 472-27-49
Эл. почта: ersp@meta.ua

С.В. Мечик
Телефон: +380 (62) 301-08-39

Е.А. Лоза
Телефон: +7 (495) 727-38-77

Е.В. Ошовская
SPIN-код: 6249-3730
Телефон: +380 (62) 301-08-39
Эл. почта: evo2008@pochta.ru

О.А. Ковалева
Телефон: +380 (62) 301-08-39

Статья поступила 27.07.2016 г.
© С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, С.В. Мечик, О.А. Ковалева, Е.А. Лоза, 2016
Рецензент д.т.н., проф. А.В. Яковченко

УДК 629.225.033

С.А. Снитко /к.т.н./, А.В. Яковченко /д.т.н./, Н.И. Ивлева
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕССОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ШТАМПОВКИ КОЛЕСНЫХ ЗАГОТОВОК

Выполнена адаптация методики конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей инструмента деформации заготовочного пресса силой 50 МН. На базе разработанных калибровок и сборочного чертежа инструмента деформации применительно к усовершенствованному профилю колеса диаметром 957 мм с 2-радиусным диском по ГОСТ 10791-2011 выполнен анализ НДС деталей, в которых наиболее вероятно появление изгибающих нагрузок и, соответственно, растягивающих напряжений, приводящих к появлению трещин.

Ключевые слова: *железнодорожное колесо, калибровка, сборочный чертеж инструмента деформации заготовочного пресса, конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния деталей.*

Постановка проблемы

Создание новых низконапряженных конструкций железнодорожных колес, которые в соответствии со стратегией инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» рассчитаны на повышенные, до 27 тс (264,9 кН), осевые нагрузки, требует решения комплекса задач по обеспечению требуемых показателей качества и высокой стойкости инструмента деформации металла. При этом актуально разработать компьютерные программы проектирования сборочных чертежей инструмента деформации заготовочных прессов применительно к новым перспективным схемам колесных заготовок, выполнить адаптацию методики конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей инструмента деформации заготовочных, формовочных и выгибных прессов и на этой основе проанализировать напряжения и деформации в деталях, в которых наиболее вероятно появление изгибающих нагрузок и, соответственно, растягивающих напряжений, приводящих к появлению трещин.

Анализ последних исследований и публикаций

Освоение производства новых конструкций железнодорожных колес, которые призваны обеспечить минимизацию в них напряжений от действия эксплуатационных нагрузок, требует разработки технологии их штамповки и прокатки. В связи с тем, что профили новых колес, как правило, во многом отличаются от уже освоенных, ряд элементов разрабатываемых технологий также требует существенного совершенствования. И в первую очередь это относится к одному из основных элементов технологии – калибровкам по металлу и инструменту деформации.

Разработка технологии штамповки и прокатки колес на прессопрокатной линии включает следующие основные этапы: проектирование профиля чистового (рис. 1 и 2а) и чернового колеса (рис. 2б); проектирование калибровок по металлу и инструменту деформации для заготовочного (рис. 2з, 3 и 4); формовочного (рис. 2е, 2ж, 2и); и выгибного (рис. 2в и 2г) прессов, а также колесопрокатного стана (рис. 2д); проектирование сборочных чертежей (рис. 5 и 6) и чертежей деталей основного инструмента деформации и дополнительной оснастки. Разработанные калибровки в значительной степени определяют соответствующие сборочные чертежи.

Методы компьютерного проектирования низконапряженных конструкций колес изложены в работах [1,2], калибровок валков и штампов в работах [3-5]. Вопросы конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния металла при штамповке и прокатке колес освещены в работах [6,7]. Теоретические основы и метод проектирования сборочных чертежей инструмента деформации для заготовочного пресса представлены в работе [8].

Вместе с тем необходимость получения требуемого качества штампованно-катаных колес и высокой стойкости инструмента деформации металла определяет актуальность конечно-элементного моделирования не только НДС металла при его штамповке и прокатке, но также и

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

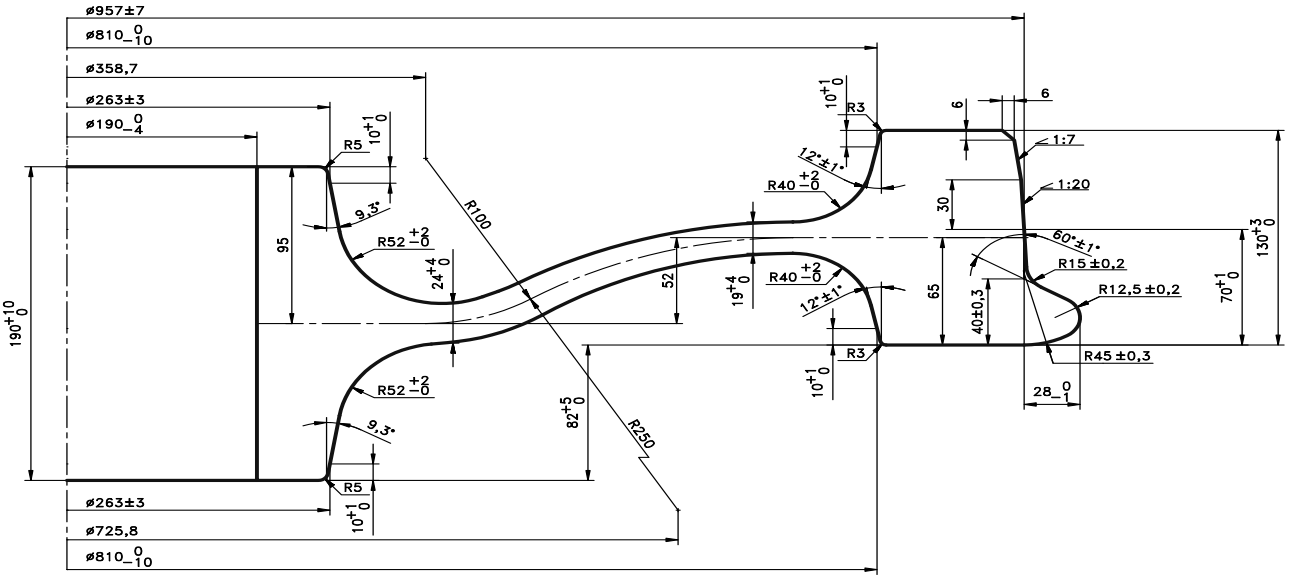


Рис. 1. Профиль чистового колеса с 2-радиусным диском ∅957 мм, выполненный по номинальным размерам

деталей основного инструмента деформации и дополнительной оснастки. Полученные при этом результаты могут служить основой для корректировок как калибровок, так и сборочных чертежей и чертежей деталей инструмента деформации для обеспечения их долговечности.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является: адаптация методики конечно-элементного моделирования НДС деталей инструмента деформации заготовочного пресса силой 50 МН; совершенствование компьютерных программ, разработка на их основе калибровок и сборочного чертежа инструмента деформации применительно к усовершенствованному профилю колеса диаметром 957 мм с 2-радиусным диском по ГОСТ 10791-2011; выполнение анализа НДС деталей заготовочного пресса силой 50 МН, в которых наиболее вероятно появление изгибающих нагрузок и, соответственно, растягивающих напряжений, приводящих к появлению трещин.

Основной материал исследования

Результаты исследований выполнены применительно к профилю железнодорожного колеса ∅957 мм с 2-радиусным диском [1], которое является усовершенствованным вариантом колеса с плоскоконическим диском («облегченка»). Основная идея усовершенствования конструкции колеса заключалась в том, чтобы изменить в нем на базе теории [2] только один элемент, а именно плоскоконическую часть диска на криволинейную. На рис. 1 представлен чертеж усовершенствованного колеса с 2-радиусным диском, соответствующего требованиям ГОСТ 10791-2011. Ось криволинейной части диска спроектирована на основе уравнения «цепной линии», что, как показано в работах [1,2], способствует минимизации напряжений от эксплуатационных нагрузок и их наиболее равномерному распределению в диске колеса.

Контур чистового колеса с 2-радиусным диском ∅957 мм и соответствующий ему контур чернового колеса ∅965 мм, выполненный по номинальным размерам, представлены на рис. 2а, 2б.

Результаты проектирования профилей чистовых и черновых колес являются основой для последующего проектирования калибровок и инструмента деформации металла.

Методы компьютерного проектирования калибровок валков и штампов, изложенные в работе [3], в первую очередь были ориентированы на оборудование и технологию прессопрокатных линий колесопрокатных цехов АО «Выксунский металлургический завод» (ВМЗ) и ПАО «Интерпайп» Нижнеднепровский трубопрокатный завод (НТЗ).

Прессопрокатное оборудование нового колесопрокатного цеха ОАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (НТМК) существенно отличается [4]. В настоящей работе эти отличия учтены, причем как в математических моделях и компьютерных программах, так и на всех этапах проектирования калибровок по металлу и инструменту деформации (рис. 2): *в* – калибровка по металлу для выгибного пресса силой 50 МН (учтены температурное расширение металла и противосдвиг обода относительно ступицы для компенсации соответствующего смещения этих элементов при последующей термообработке колеса); *г* – калибровка по

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

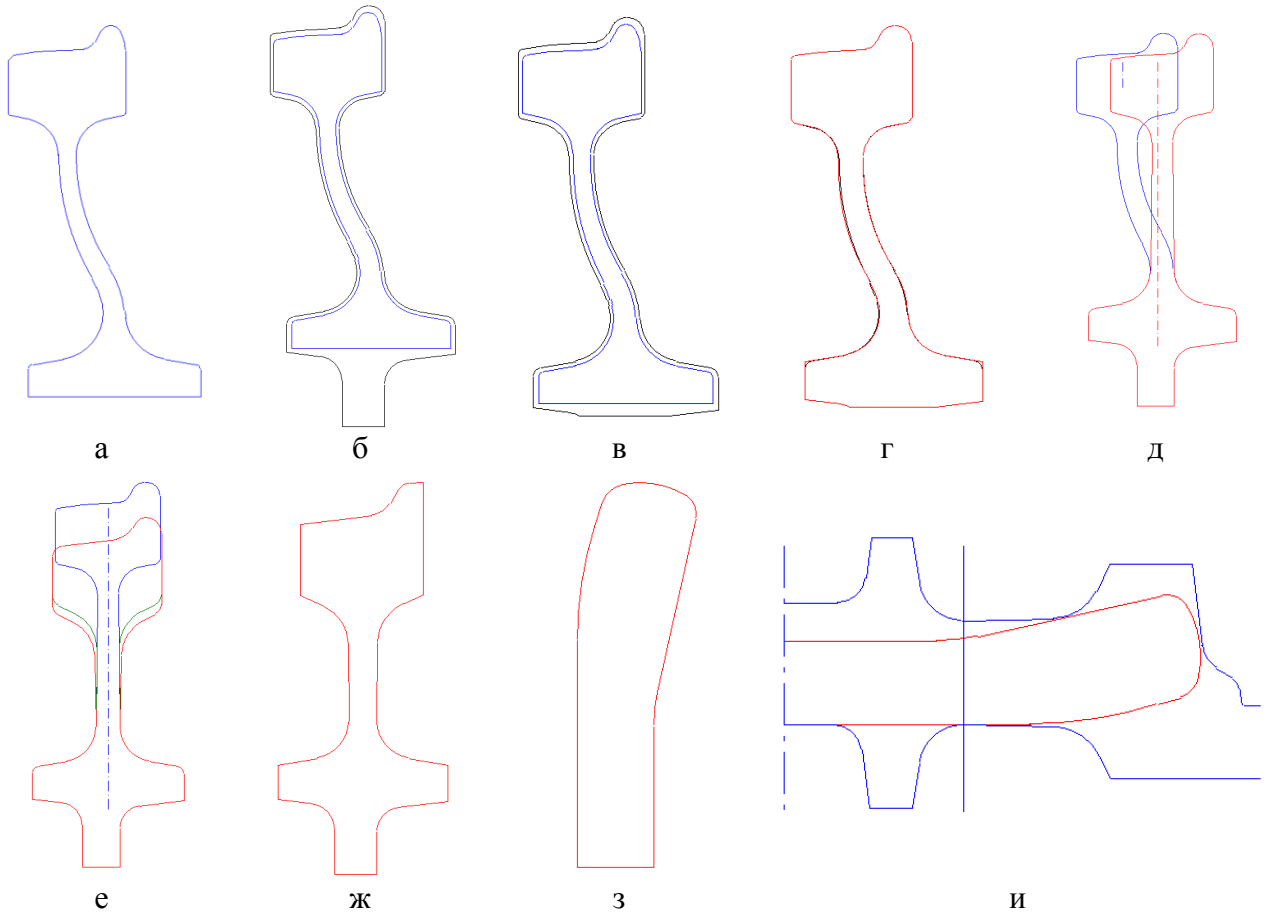


Рис. 2. Калибровки по металлу и инструменту деформации

инструменту деформации, совмещенная с калибровкой по металлу для выгибного пресса; *д* – калибровка по металлу для колесопрокатного стана (КПС) с учетом полного распрямления диска; *е* – калибровка по металлу для формовочного пресса; *ж* – калибровка по инструменту деформации для формовочного пресса; *з* – калибровка по металлу для заготовочного пресса [5]; *и* – контрольное построение захода заготовки в формовочные штампы.

На базе контура, показанного на рис. 2з, разработана калибровка по инструменту деформации для заготовочного пресса (рис. 3), которая позволила выполнить анализ формоизменения металла при осадке и разгонке исходной заготовки (рис. 4).

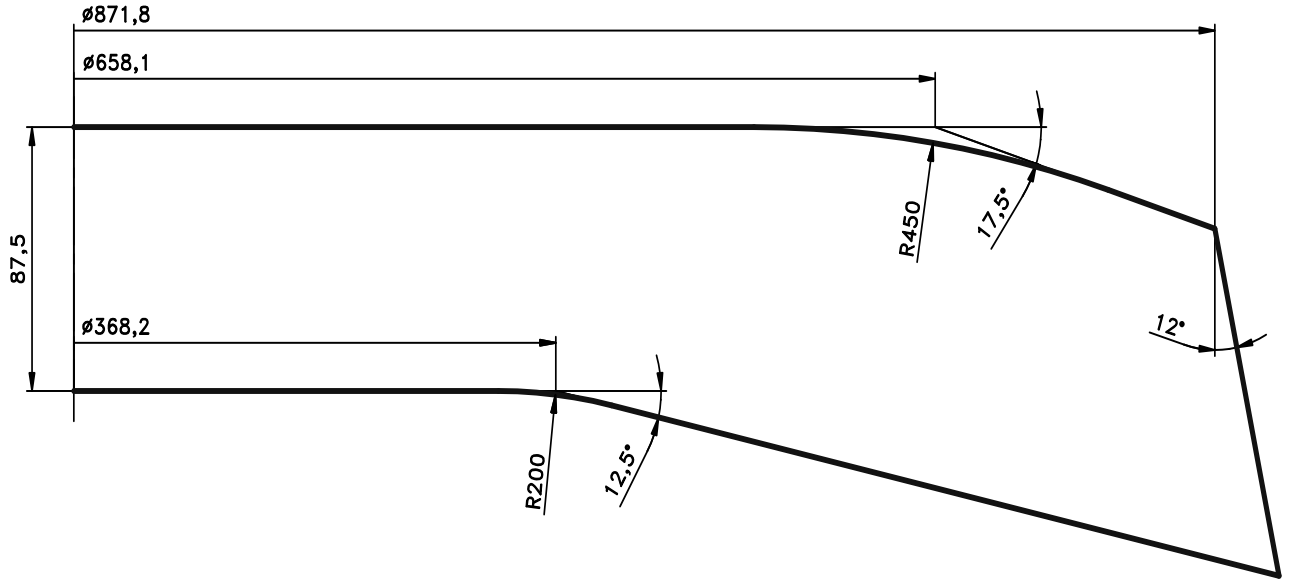


Рис. 3. Калибровка по инструменту деформации для заготовочного пресса силой 50 МН

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

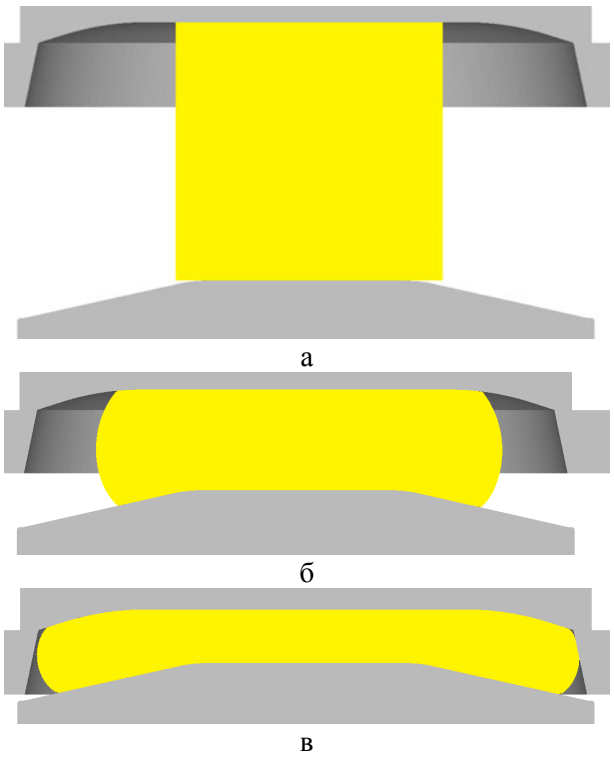


Рис. 4. Формоизменение металла при осадке и разгонке исходной заготовки:
а, б, в – этапы заполнения штампа

Указанная калибровка по инструменту деформации также используется для проектирования сборочного чертежа инструмента деформации заготовочного пресса силой 50 МН (рис. 5 и 6).

Разработка калибровок (рис. 2-4) на всех этапах сопряжена с конечно-элементным моделированием напряженно-деформированного состояния металла при его штамповке и прокатке. Указанная задача является многовариантной, а ее решение в конечном итоге должно обеспечить как получение требуемого качества штампованно-катаных колес, так и высокую стойкость инструмента деформации металла. Это, в свою очередь, определяет актуальность конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния основного инструмента деформации и дополнительной оснастки. Полученные при этом результаты служат основой для корректировок как калибровок, так и чертежей деталей инструмента деформации.

Автоматизированное проектирование прессового инструмента, необходимого для освоения новых высокоэффективных конструкций железнодорожных колес, имеет высокую актуальность. Методы его проектирования, предложенные в работе [3], применимы для условий АО «ВМЗ» и ПАО «Интерпайп НТЗ», где при освоении производства новых колес необходимо разрабатывать и изготавливать только инструмент, который непосредственно контактирует с деформируемым металлом. На современных прессопрокатных линиях, в том числе на ОАО «ЕВРАЗ НТМК», установлены прессы новой конструкции, которые обладают более высокими техническими характеристиками, но при освоении производства новых колес требуют проектирования и изготовления как основного инструмента деформации, который контактирует с металлом, так и деталей дополнительной оснастки, которые с ним не контактируют. Компьютерное проектирование такого инструмента возможно только на основе соответствующих сборочных чертежей по методу, созданному в работе [8].

Проектирование сборочного чертежа инструмента деформации заготовочного пресса силой 50 МН (*R* 5000) (рис. 6) выполнено в окнах компьютерной программы (рис 5), разработанной для используемой схемы заготовки (рис. 2з) [5].

Анализ НДС в деталях инструмента при штамповке колесных заготовок на прессе *R* 5000, выполняли путем решения объемной задачи для сектора, имеющего угол 90°. Это позволило, с одной стороны, уменьшить количество конечных элементов, а с другой – обеспечить достаточно точное моделирование формы и размеров деталей инструмента, вступающих в контакт как с деформируемым металлом заготовки, так и между собой (рис. 7а).

Также с целью «минимизации» модели сеткой разбивали не все детали, а только те, в которых наиболее вероятно появление изгибающих нагрузок и, соответственно, растягивающих напряжений, приводящих к появлению трещин и повышенному износу. К ним относятся верхний и нижний штампы и пуансон, которые контактируют с деформируемым металлом, а также верхний опорный платик, контактирующий с верхним штампом и пуансоном (рис. 7а).

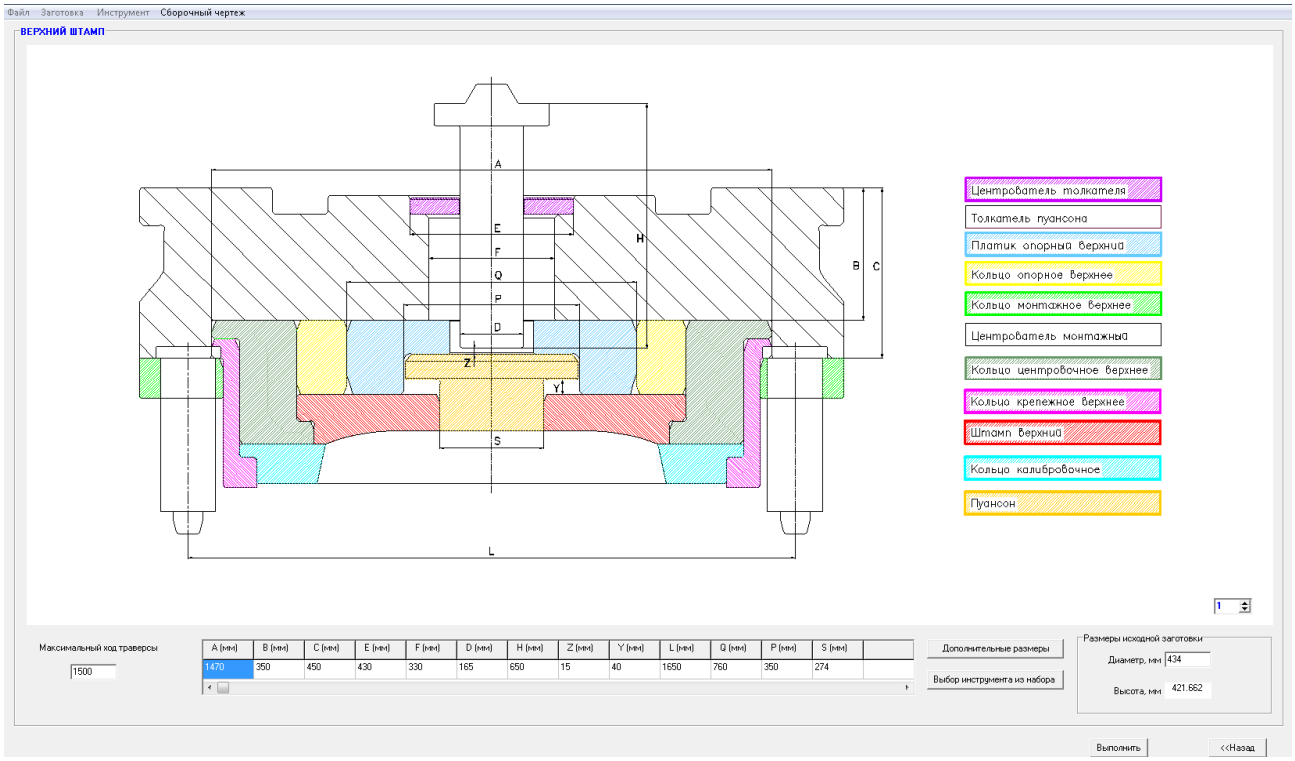
Для моделирования прессового инструмента выбрали упругий тип объекта. В качестве материала использовали имеющуюся в библиотеке DFORM-3D штамповую сталь AISI-H-13 с соответствующими механическими и теплофизическими характеристиками, зависящими от температуры.

Для колесной заготовки использовали пластическую модель материала. Начальную температуру штампов приняли равной 20 °С. Заготовка перед штамповкой имела неравномерное температурное поле в диапазоне 1066-1260 °С, полученное в путем моделирования гидросбива окалины с торцевых поверхностей заготовки и ее передачи от нагревательной печи к заготовочному прессу.

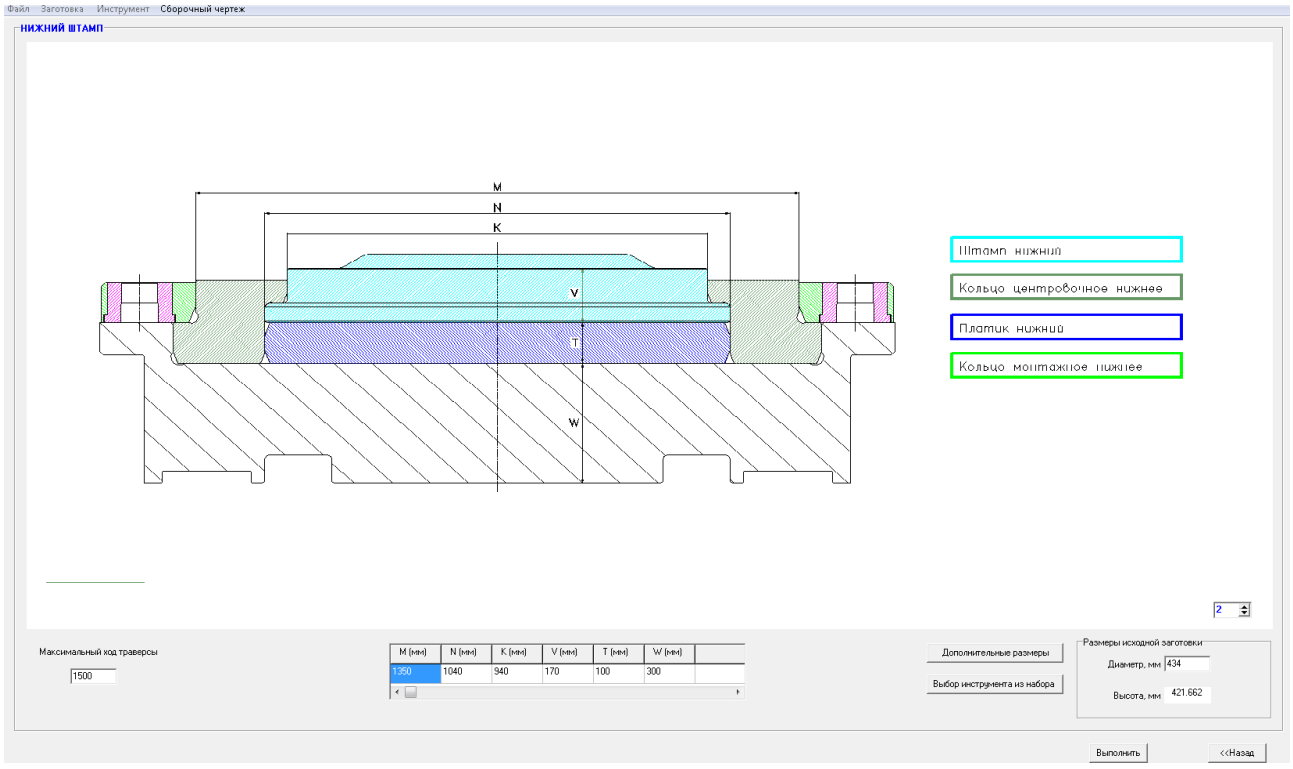
ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Результаты моделирования показали, что при осадке заготовки, совмещенной с ее разгонкой, имеет место разогрев контактных поверхностей инструмента деформации до температур: 355 °С – в верхнем штампе и пуансоне; 368 °С – в нижнем штампе (рис. 7б).

В последний момент штамповки на контактных поверхностях штампов создаются достаточно большие напряжения. Так, эквивалентные напряжения по Мизесу достигают: 700 МПа в нижнем штампе; 595 МПа в верхнем штампе; 560 МПа в пуансоне. Вместе с тем, они являются сжимающими, причем и для верхнего и для нижнего инструмента деформации (рис. 7в).



а



б

Рис. 5. Окно проектирования сборочного чертежа инструмента деформации заготовочного пресса силой 50 МН: *а* – верхний штамп; *б* – нижний штамп

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

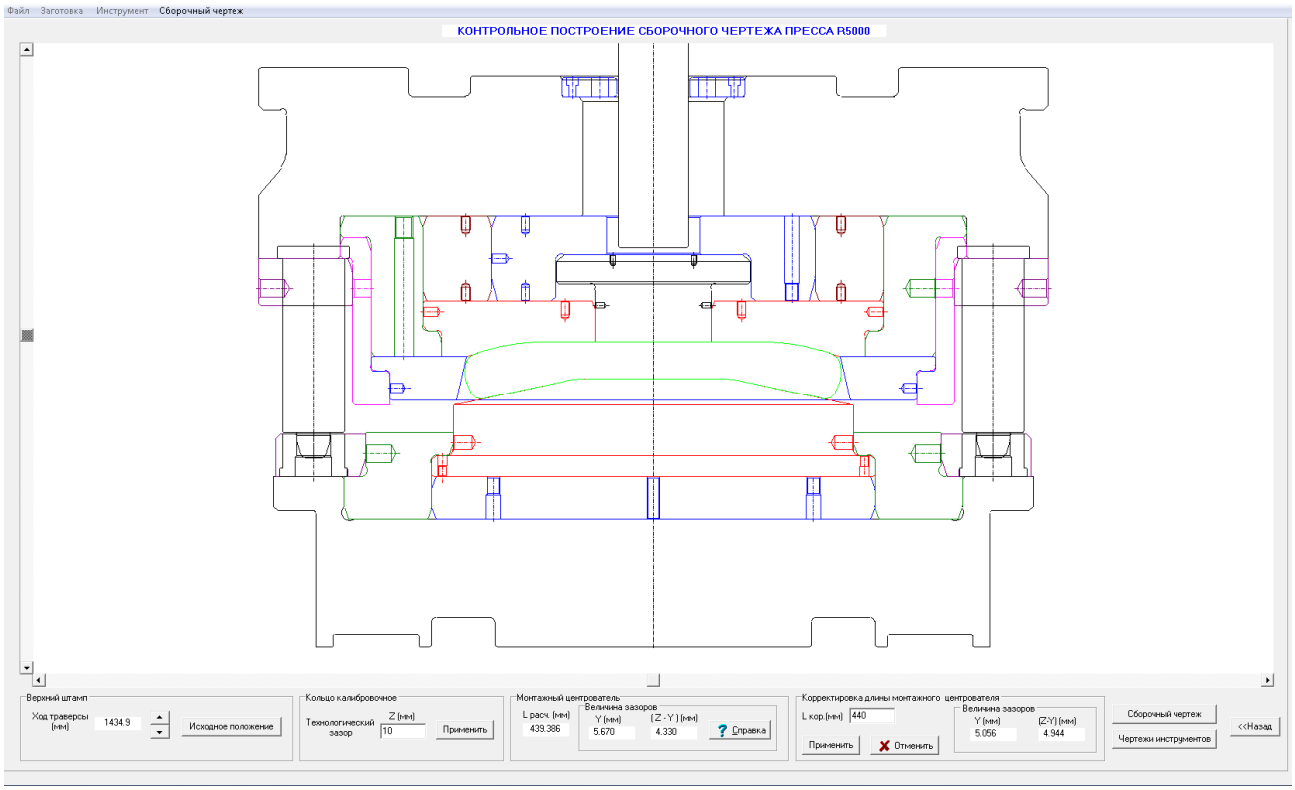


Рис. 6. Контрольное построение сборочного чертежа инструмента деформации заготовочного пресса силой 50 МН (*R* 5000), компьютерное проектирование которого выполнено в автоматическом режиме

Растягивающие напряжения в штампах и в пуансоне создаются лишь на их периферийных поверхностях, но, как показали расчеты, их величина небольшая (не более 73 МПа).

Следует отметить, что наиболее высокие напряжения в верхнем штампе наблюдаются в его центральной части вблизи отверстия. Здесь же наблюдается его прогиб (рис. 7г). Прогибы имеют место также в верхнем платике и в пуансоне.

В результате прогиба центральной части верхнего штампа на боковой поверхности пуансона, контактирующей с верхним штампом в зоне его центрального отверстия (в области фаски), развивается зона концентрации напряжений. Однако величина этих напряжений в окончательном варианте разработанного инструмента деформации незначительна и не превышает величины предела текучести. Так, эквивалентные напряжения составляют 137 МПа (рис. 7д), а среднее главное напряжение, являющееся растягивающим, равно 51 МПа (рис. 7е).

При взаимодействии пуансона и верхнего опорного платика также возникает зона концентрации напряжений, расположенная в зоне фаски центрального отверстия платика с верхней его стороны (рис. 7д). Эквивалентные напряжения в этой зоне достигают 325 МПа. Среднее главное напряжение – растягивающее, но оно не превышает 12 МПа.

Кроме того, как показали результаты моделирования, в результате прогиба внутреннего фланца платика у основания фланца и с верхней стороны платика появляется зона действия растягивающих напряжений: величина среднего главного напряжения в этих областях достигает 55 МПа (рис. 7е).

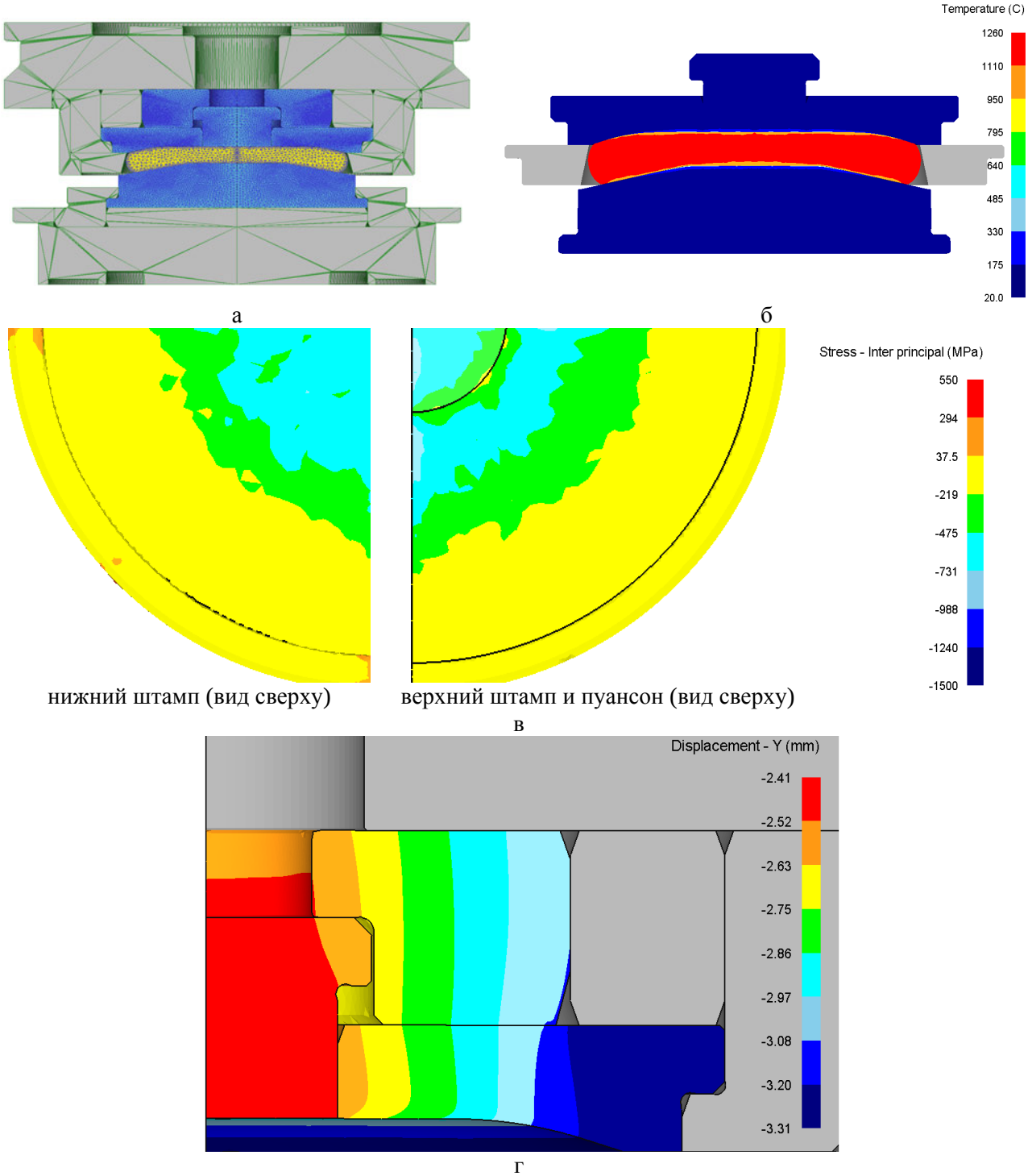
Выводы

Необходимость получения требуемых показателей качества штампованно-катаных колес и высокой стойкости инструмента деформации металла определяет актуальность конечно-элементного моделирования НДС металла при его штамповке и прокатке, а также деталей основного инструмента деформации и дополнительной оснастки. Полученные при этом результаты служат основой для корректировок как калибровок, так и чертежей деталей инструмента деформации.

Выполнена адаптация методики конечно-элементного моделирования НДС деталей инструмента деформации заготовочного пресса силой 50 МН. На базе разработанных калибровок и сборочного чертежа инструмента деформации применительно к профилю колеса диаметром 957 мм с 2-радиусным диском по ГОСТ 10791-2011 выполнен анализ НДС деталей, в которых наиболее вероятно появление изгибающих нагрузок и, соответственно, растягивающих напряжений, приводящих к появлению трещин.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Растягивающие напряжения в окончательном варианте разработанного инструмента деформации не превышают величины предела текучести, что способствует повышению стойкости инст-



а б

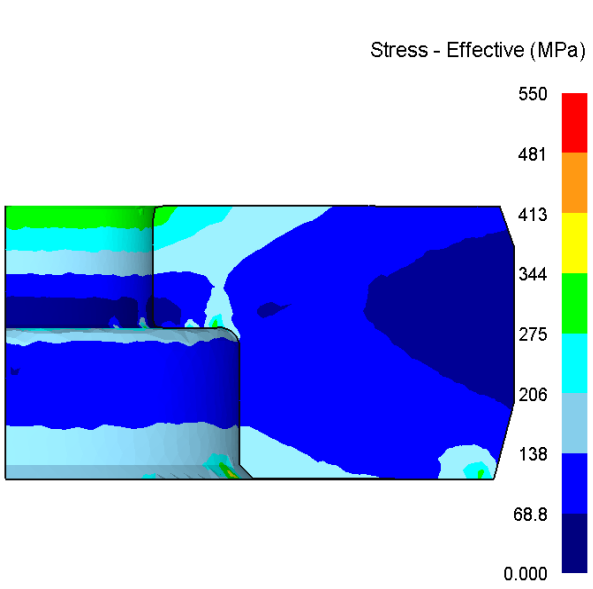
нижний штамп (вид сверху) верхний штамп и пуансон (вид сверху)

в

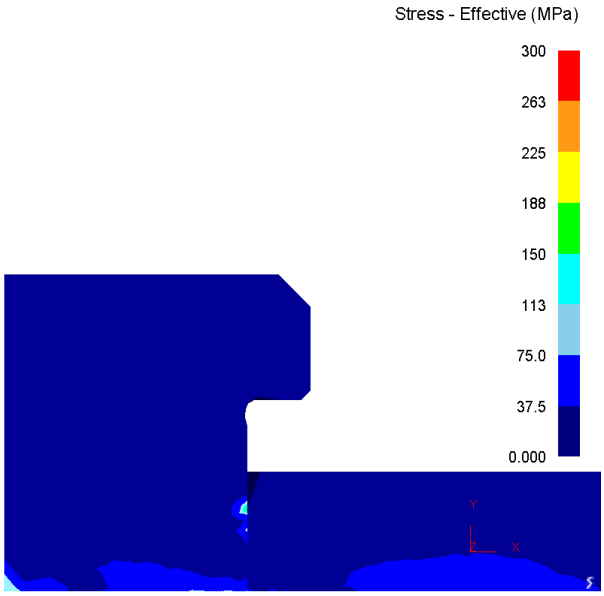
г

Рис. 7. Результаты расчетов НДС деталей основного инструмента деформации и дополнительной оснастки заготовочного пресса силой 50 МН:
а – геометрия и конечно-элементная сетка элементов прессовой оснастки, использованные при моделировании процесса штамповки колесной заготовки на прессе R 5000;
б – распределение температуры в заготовке и инструменте деформации в последний момент штамповки;
в – распределение среднего (с учетом знака) главного напряжения σ_2 на поверхности штампов в последний момент штамповки; *г* – перемещение по вертикали (прогибы) элементов верхнего штампа, платика и пуансона в последний момент штамповки; *д* – распределение эквивалентных напряжения по Мизесу в верхнем штампе, платике и пуансоне в последний момент штамповки; *е* – распределение средних главных напряжений в верхнем штампе, платике и пуансоне в последний момент штамповки

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

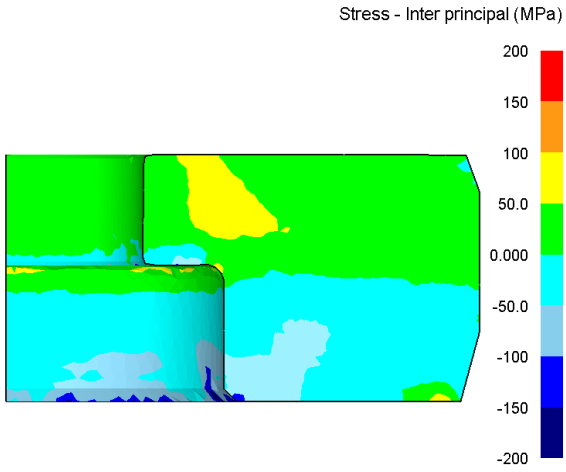


платик верхний опорный

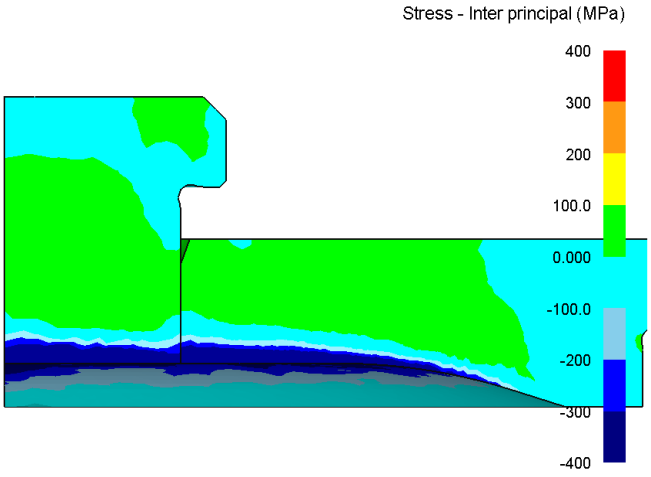


пуансон и верхний штамп

д



платик верхний опорный



пуансон и верхний штамп

е

Продолжение рис.7.

румента.

Результаты конечно-элементного моделирования НДС деталей инструмента деформации могут служить основой для прогнозирования интенсивности их износа в зонах контакта с деформируемым металлом.

Список литературы

1. Yakovchenko A.V. Railroad Wheels Satisfying State Standard GOST 10791-2011 / A.V. Yakovchenko, S.A. Snitko // Steel in Translation. – 2015. – Vol.45, No.12. – P. 967-974.
2. Снитко С.А. Теоретические основы проектирования профилей железнодорожных колес с криволинейными дисками, построенными на базе принципа «золотого сечения» и «цепной линии» / С.А. Снитко, А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева // Наук. пр. Донецького національного технічного університету. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – Вип.1(14)-2(15). – С. 131-146. (сер.: металургія).
3. Яковченко А.В. Проектирование профилей и калибровок железнодорожных колес: монография / А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева, Р.А. Голышков. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 491 с.
4. Копперс У. Производство железнодорожных колес на высоком техническом уровне / У. Копперс, М. Кунц // Черные металлы. – 2006. – № 3. – С. 75-79.
5. Снитко С.А. Технологические схемы и механизмы, обеспечивающие повышение точности и стабильности размеров штампованных колесных заготовок / Сталь. – 2013. – №10. – С. 72-80.
6. Analysis of railway wheel rolling process based on three-dimensional simulation / X. Shen [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2014. – Vol.72,

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Issue 1. – P. 179-191.
7. Experiment and Simulation of Metal Flow in Multistage Forming Process of Railway Wheel / X. Shen [et al.] // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2015. – Vol.22, Issue 1. – P. 21-29.
8. Снитко С.А. Теоретические основы автоматизированного проектирования сборочных чертежей прессового инструмента для осадки и разгонки колесных заготовок / С.А. Снитко, А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева // Наук. пр. Донецького національного технічного університету. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – Вип. 1(16)-2(17). – С. 209-225. (сер.: металургія).

S.A. Snitko /Cand. Sci. (Eng.)/, A.V. Yakovchenko /Dr. Sci (Eng.)/, N.I. Ivleva
Donetsk National Technical University (Donetsk)

COMPUTER DESIGN OF FORGING DEFORMATION TOOL FOR STAMPING WHEELS BILLETS

Background. *The creation of new low-cost railway wheels, designed for the higher, up to 27 tf (264,9 kN), axial load, in accordance with the strategy of innovative development of JSC "Russian Railways", requires the solution of a set of tasks to ensure the necessary indicators of their quality and long life of metal deformation tools. This determines the relevance of finite-element modeling not only of the stress-strain state (SSS) of metal at stamping and rolling but also parts of main deformation tool and additional tooling.*
Materials and/or methods. *The objective of this paper is adaptation of technique of finite-element modeling of the stress-strain state of the details of the billet press deformation tool of 50 MN force; development of calibration and assembly drawing of the deformation tool applied to an improved wheel profile with 957 mm diameter with a 2-radius disk according to GOST 10791-2011; analysis of SSS of the details of the billet press force of 50 MN, which are most likely to have bending loads and accordingly, tensile stresses leading to cracking.*
Results. *Methods and computer design calibration programs by metal and deformation tool improved as applied to rolling and press equipment at a new wheel-rolling shop of JSC "EVRAZ NTMK". A computer program developed for the design of assembly drawings and drawings of the deformation tool parts of billet presses in relation to a promising new scheme of wheel billet.*
Conclusion. *Performed the adaptation of the technique of finite-element modeling of stress-strain state of the deformation tool parts of the billet press force of 50 MN. Based on calibrations and assembly drawing of the deformation tool as applied to the wheel profile of 957 mm diameter with 2-radius disk according to GOST 10791-2011, performed the SSS analysis of the parts, which are most likely to have bending loads, and accordingly, tensile stresses leading to cracking. Tensile stress in the final version of the developed deformation tool does not exceed the value of the yield stress. The results of finite-element modeling of SSS of the deformation tool parts can serve as a basis for predicting the intensity of the wear in the contact area with wrought metal.*

Keywords: *railway wheel, calibration, assembly drawing, deformation tool, billet press, finite element modeling, the stress-strain state of parts.*

Сведения об авторах

С.А. Снитко
SPIN-код: 8463-3786
Телефон: +380(50) 683-17-29
Эл. почта: snitko_sa@mail.ru

А.В. Яковченко
SPIN-код: 1314-1795
Телефон: +380 (50) 995-10-47
Эл. почта: mond1991@mail.ru

Н.И. Ивлева
Телефон: +380 (95) 426-84-83
Эл. почта: ivl22@mail.ru

Статья поступила 16.11.2016 г.
© С.А. Снитко, А.В. Яковченко, Н.И. Ивлева, 2016
Рецензент д.т.н., проф. С.П. Еронько

УДК 621.746

А.В. Васильева, А.Б. Бирюков /д.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕЛИЧИН, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ТЕПЛОВУЮ РАБОТУ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

Исследованы погрешности определения при помощи методики диагностики тепловых процессов в кристаллизаторе МНЛЗ величин, характеризующих тепловую работу кристаллизатора, в зависимости от погрешности определения текущих значений расхода охлаждающей воды в кристаллизаторе и перепада ее температуры.

Ключевые слова: *диагностика, теплоотвод, кристаллизатор, сортовая МНЛЗ.*

Постановка проблемы

Для повышения производительности МНЛЗ, снижения вероятности появления аварийных ситуаций и повышения качества заготовки важной задачей является проведение оперативной диагностики теплотехнических процессов, протекающих в кристаллизаторе. В настоящее время системы АСУ ТП практически всех МНЛЗ измеряют и регистрируют перепад температуры охлаждающей воды в кристаллизаторе. Результат этого измерения является в большинстве случаев единственным источником информации о текущем тепловом состояния кристаллизатора и заготовки, формирующейся в нем [1].

Анализ последних исследований и публикаций

Общепризнанным является факт прямой зависимости качества заготовок и стабильности процесса разливки от правильности протекания процессов, прежде всего тепловых, в кристаллизаторе МНЛЗ [1]. Так, одним из необходимых условий, которое должно быть выполнено при работе кристаллизатора, является получение заданной толщины корки под кристаллизатором. Кроме того, температурное состояние корочки, формируемое в результате протекания тепловых процессов в кристаллизаторе, определяет силовые параметры механического взаимодействия корки заготовки и внутренней поверхности кристаллизатора и таким образом влияет на срок службы кристаллизаторов [2].

Сегодня, большинство МНЛЗ снабжено системой контроля такой величины, как перепад температуры охлаждающей воды в кристаллизаторе [1,3,4]. Она несет косвенную информацию о количестве тепла, переданного в кристаллизаторе, что, в свою очередь, характеризует теплообмен между корочкой заготовки и внутренней поверхностью кристаллизатора. Так, увеличение перепада температур охлаждающей воды в кристаллизаторе свидетельствует об увеличении количества тепла, отводимого от поверхности заготовки, и наоборот [4].

Изменение во времени величин, характеризующих тепловую работу кристаллизатора (для условий одного из металлургических предприятий Донбасса), показано на рис. 1. Однако различия перепада температур во времени могут быть вызваны изменением расхода охлаждающей воды в кристаллизаторе. В работах [5,6] для анализа тепловой работы кристаллизатора предложено учитывать величины более информативные, чем перепад температуры охлаждающей воды. В качестве таких величин целесообразно использовать среднюю плотность теплового потока с поверхности заготовки в кристаллизаторе ($\bar{q}$), среднее значение коэффициента теплопередачи в кристаллизаторе ($\bar{k}$), средний коэффициент теплоотдачи от корки заготовки к внутренней поверхности гильзы кристаллизатора ($\bar{\alpha}$), эффективную толщину газового зазора ($\delta_{эф}$). Методология определения этих величин, предложенная в работе [5], может быть адаптирована в реальных условиях. В работе [6] описан пример расчетного определения усредненных значений названных величин для исходных данных, приведенных на рис. 1. Сечение разливаемой заготовки составляет 120×120 мм, а длина кристаллизатора – 750 мм.

Так, численно показано, что с помощью предложенных зависимостей в рамках системы АСУ ТП в режиме реального времени можно определять изменение значений всех заявленных величин ($\bar{q}$, $\bar{k}$, $\bar{\alpha}$, $\delta_{эф}$) в зависимости от таких аргументов, как перепад температуры охлаждающей воды в кристаллизаторе, расход первич-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

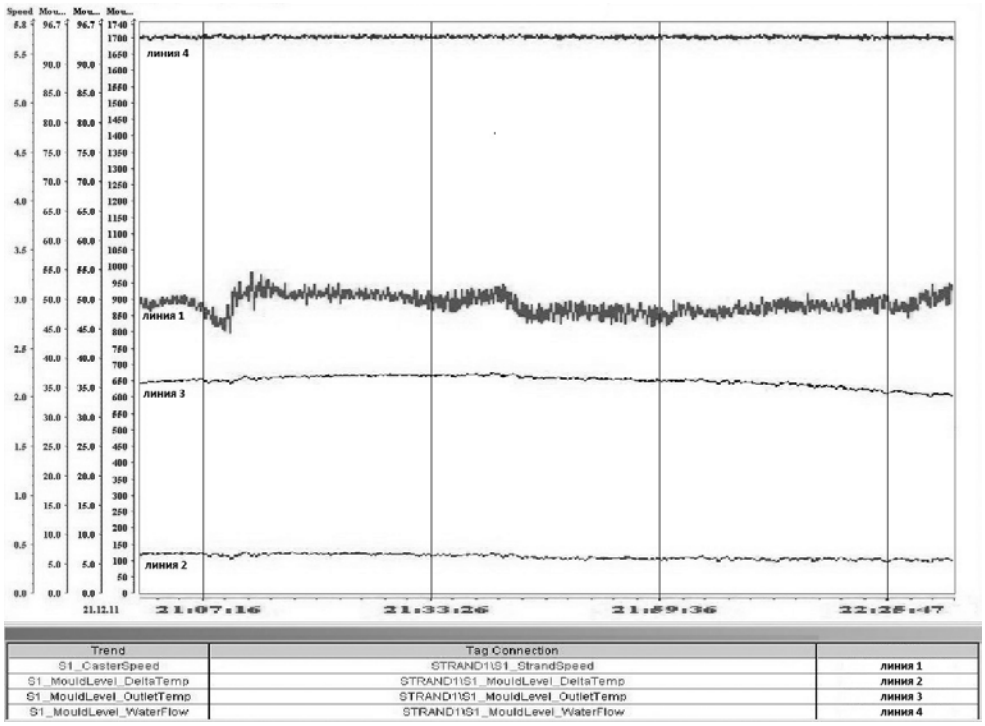


Рис. 1. Изменение во времени величин, характеризующих тепловую работу кристаллизатора

ной воды, теплофизические характеристики разливаемой стали, геометрические параметры гильзы кристаллизатора (рис. 2) [6].

Однако перед переходом к непосредственному использованию данного комплекса диагностики тепловых процессов в кристаллизаторе необходима оценка погрешностей, возникающих по причине неточности измерения величин-аргументов.

Цель (задачи) исследования

Целью работы является оценка погрешностей системы мониторинга теплотехнических параметров кристаллизаторов сортовых МНЛЗ при определении средней плотности теплового потока с поверхности заготовки в кристаллизаторе, среднего значения коэффициента теплопередачи через стенки кристаллизатора, среднего коэффициента теплоотдачи от корки заготовки к внутренней поверхности гильзы кристаллизатора, эффективной толщины газового зазора, вызванных погрешностями измерения входящих величин расхода охлаждающей воды в кристаллизаторе G и перепада ее температур на входе и на выходе из кристаллизатора Δt.

Основной материал исследования

Рассматриваемая в данной работе система диагностики базируется на следующих зависимостях:

$$\bar{q} = \frac{Gc\Delta t}{F}, \qquad (1)$$

где c – теплоемкость воды, кДж/(кг·К); F – поверхность контакта заготовки и кристаллизатора, м^2;

$$\bar{k} = \frac{\bar{q}}{(t_c - t_в)}, \qquad (2)$$

где t_c – температура солидуса для разливаемой марки стали, ºС; $t_в$ – средняя температура охлаждающей воды в кристаллизаторе, ºС;

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{\frac{1}{\bar{k}} - \frac{1}{\alpha_в} - \frac{\delta_м}{\lambda_м} - \frac{\bar{\delta}_к}{\lambda_к}}, \qquad (3)$$

где $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности гильзы кристаллизатора к воде, Вт/(м^2·К); $\delta_м$ – толщина стенки гильзы кристаллизатора, м; $\lambda_м$ – коэффициент теплопроводности материала гильзы кристаллизатора, Вт/(м·К); $\bar{\delta}_к$ – средняя толщина корки металла в кристаллизаторе, м; $\lambda_к$ – коэффициент теплопроводности корки заготовки при ее средней температуре, Вт/(м·К);

$$\delta_{эф} = \frac{\lambda_з}{(\bar{\alpha} - \alpha_л)}, \qquad (4)$$

где $\lambda_з$ – теплопроводность газовой прослойки, Вт/(м·К); $\alpha_л$ – коэффициент лучистой теплоотда-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

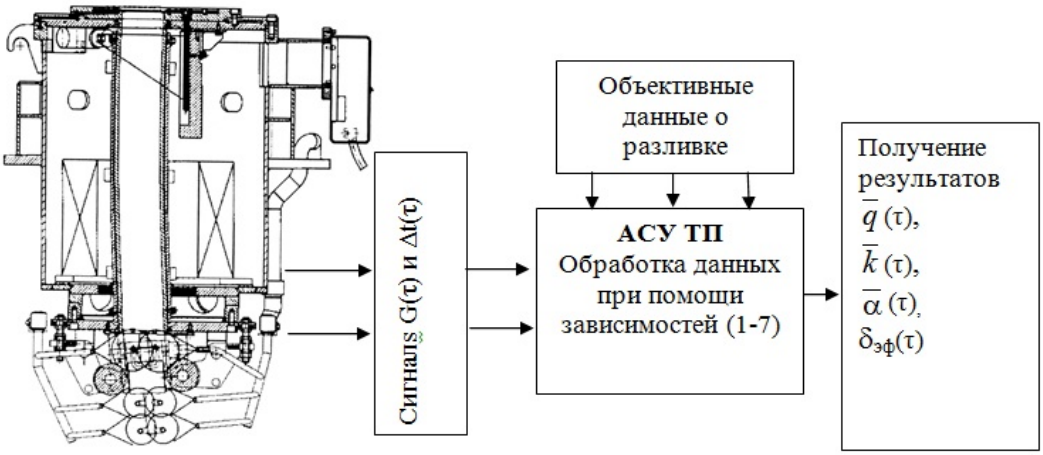


Рис. 2. Схема получения в режиме реального времени информации об изменении параметров, дающих углубленное представление о тепловых процессах, которые протекают в кристаллизаторе

чи от корки заготовки к внутренней поверхности гильзы кристаллизатора, Вт/(м^2·К) [7].

Данный набор зависимостей представляет процедуру косвенного определения величин ($\bar{q}$, $\bar{k}$, $\bar{\alpha}$, $\delta_{эф}$) в зависимости от результатов измерения аргументов G и Δt. Таким образом, актуальной является задача оценки погрешности косвенных измерений искомых величин.

Для расходомеров и дифференциальных термопар, используемых на реальных МНЛЗ при измерении G и Δt, относительная погрешность измерений, как правило, не превышает 2 %. В данной работе выполнены оценки погрешности косвенных измерений для наихудшего случая, когда погрешность измерения величин-аргументов составляет 2 %.

Из анализа выражений (1)-(2) видно, что погрешность косвенного определения $\bar{q}$ и $\bar{k}$ не зависит от базовых значений величин G и Δt. Поэтому для этих величин условно выбран базовый уровень G=1700 л/мин и Δt=6,325 и при помощи зависимостей (1)-(2) для девяти наборов аргументов рассчитаны значения $\bar{q}$ и $\bar{k}$: 1) 0,98 G, 0,98 Δt; 2) 0,98 G, Δt; 3) G, 0,98 Δt; 4) 0,98 G, 1,02 Δt; 5) 1,02 G, 0,98 Δt; 6) G, Δt; 7) G, 1,02 Δt; 8) 1,02 G, 1 Δt; 9) 1,02 G, 1,02 Δt.

Значения относительных погрешностей относительно базовой точки 6 представлены на рис. 3.

Таким образом, при погрешностях определения G и Δt по 2% максимально возможная относительная погрешность $\bar{q}$ и $\bar{k}$ составляет порядка 4%.

Из анализа выражений (3)-(4) для определения величин $\bar{\alpha}$ и $\delta_{эф}$ видно, что относительно величин G и Δt зависимости не являются линейными, а соответственно, погрешность косвенного определения искомых величин будет зависеть от базовых значений величин G и Δt.

Для оценки погрешности расчета данных величин проведено исследование по следующей схеме:

– в инженерном вычислительном пакете сформированы функции, описывающие «истинные» значения $\bar{\alpha}(G,\Delta t)$ и $\delta_{эф}(G,\Delta t)$ и функции, имитирующие погрешности, соответствующие двухпроцентным ошибкам в измерении перепада температур и расхода: $\bar{\alpha}_1(G,1{,}02\Delta t)$, $\bar{\alpha}_2(G,0{,}98\Delta t)$, $\bar{\alpha}_3(1{,}02G,\Delta t)$, $\bar{\alpha}_4(0{,}98G,\Delta t)$, $\delta_{эф2}(G,1{,}02\Delta t)$, $\delta_{эф2}(G,0{,}98\Delta t)$, $\delta_{эф3}(1{,}02G,\Delta t)$, $\delta_{эф4}(0{,}98G,\Delta t)$;

– для зафиксированного базового значения величины G на уровне 1700 л/мин рассмотрены функции:

$$\Pi\bar{\alpha}_1(\Delta t)=\frac{\bar{\alpha}_1(G,1.02\Delta t)-\bar{\alpha}(G,\Delta t)}{\bar{\alpha}(G,\Delta t)}\cdot 100\%;$$

$$\Pi\bar{\alpha}_2(\Delta t)=\frac{\bar{\alpha}_2(G,0.98\Delta t)-\bar{\alpha}(G,\Delta t)}{\bar{\alpha}(G,\Delta t)}\cdot 100\%;$$

$$\Pi\delta_{эф_1}(\Delta t)=\frac{\delta_{эф1}(G,1.02\Delta t)-\delta_{эф}(G,\Delta t)}{\delta_{эф}(G,\Delta t)}\cdot 100\%;$$

$$\Pi\delta_{эф_2}(\Delta t)=\frac{\delta_{эф2}(G,0.98\Delta t)-\delta_{эф}(G,\Delta t)}{\delta_{эф}(G,\Delta t)}\cdot 100\%.$$

– для зафиксированного базового значения величины Δt на уровне 6,325 °С рассмотрены функции:

$$\Pi\bar{\alpha}_3(G)=\frac{\bar{\alpha}_3(1.02G,\Delta t)-\bar{\alpha}(G,\Delta t)}{\bar{\alpha}(G,\Delta t)}\cdot 100\%;$$

$$\Pi\bar{\alpha}_4(G)=\frac{\bar{\alpha}_4(0.98G,\Delta t)-\bar{\alpha}(G,\Delta t)}{\bar{\alpha}(G,\Delta t)}\cdot 100\%;$$

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

$$\Pi\delta_{эф3}(G)=\frac{\delta_{эф_3}(1.02G,\Delta t)-\delta_{эф}(G,\Delta t)}{\delta_{эф}(G,\Delta t)}\cdot 100\%;\qquad \Pi\delta_{эф4}(G)=\frac{\delta_{эф_4}(0{,}98G,\Delta t)-\delta_{эф}(G,\Delta t)}{\delta_{эф}(G,\Delta t)}\cdot 100\%.$$

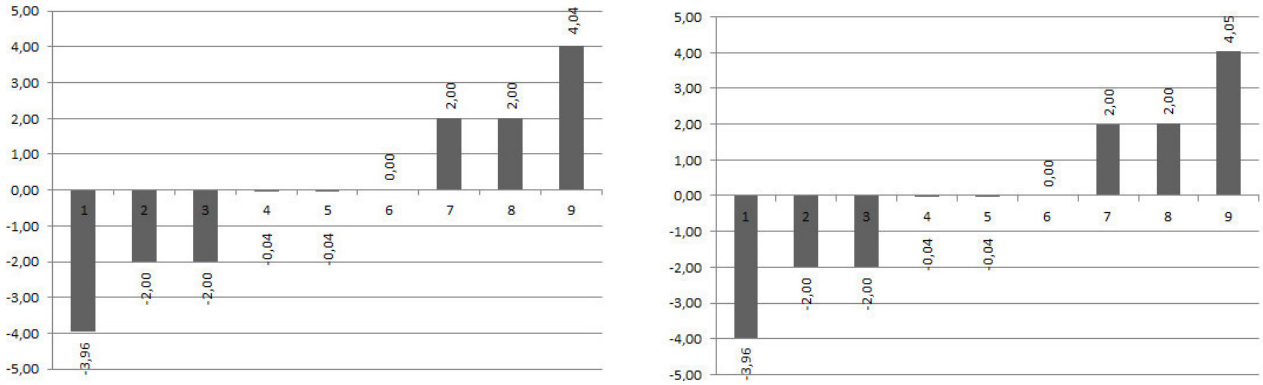


Рис. 3. Относительная погрешность определения $\bar{q}$ (*слева*) и $\bar{k}$ (*справа*)

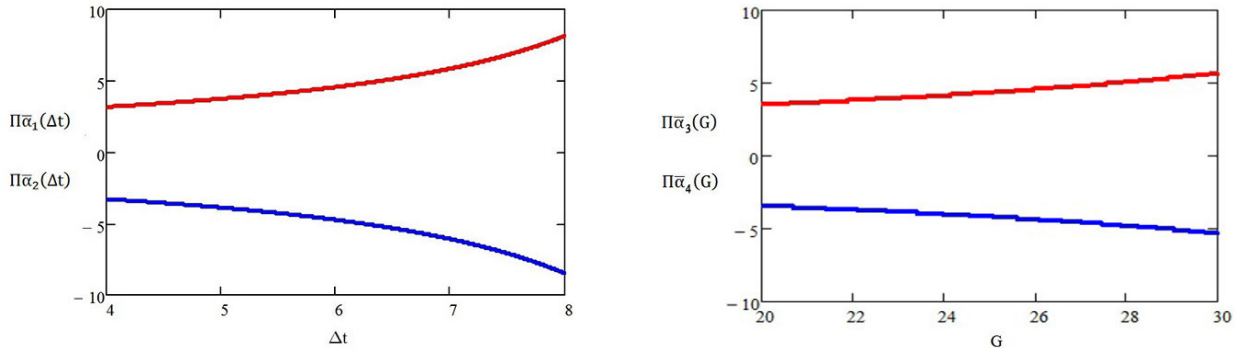


Рис. 4. Относительная погрешность в измерениях $\bar{\alpha}$

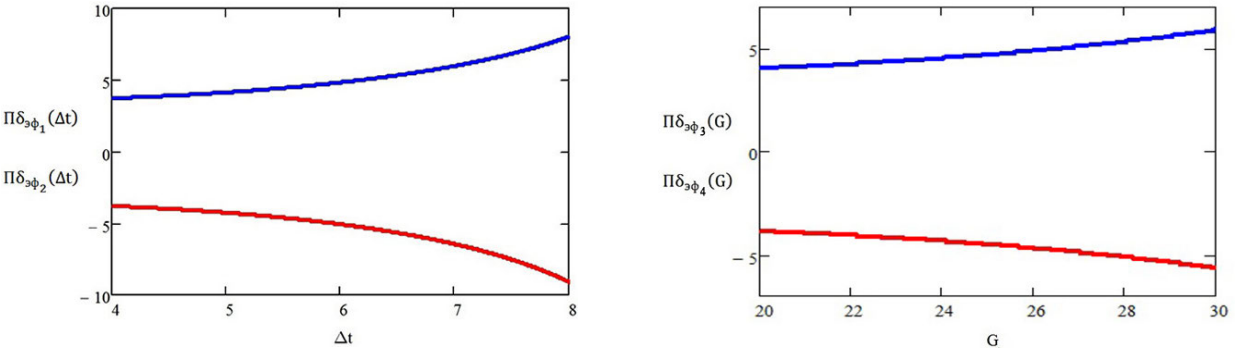


Рис. 5. Относительная погрешность в измерениях $\delta_{эф}$

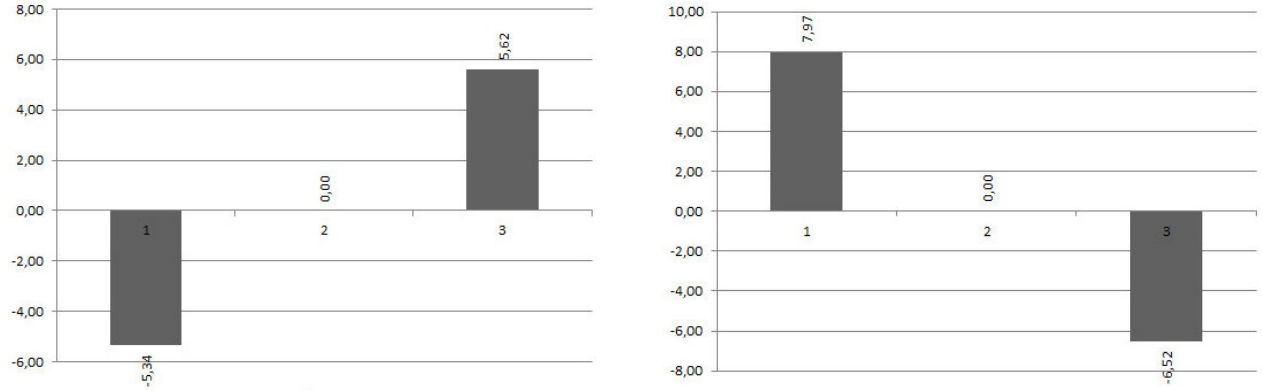
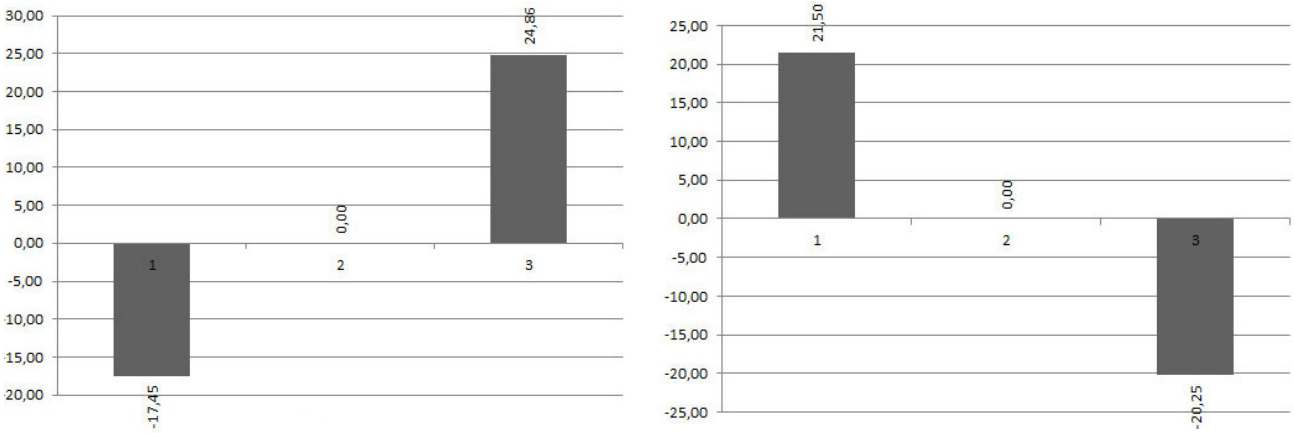


Рис. 6. Относительная погрешность в измерениях $\bar{\alpha}$ (*слева*) и $\delta_{эф}$ (*справа*) при минимальных значениях G и Δt

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



а б

Рис. 7. Относительная погрешность в измерениях $\bar{\alpha}$ (*а*) и $\delta_{эф}$ (*б*) при максимальных значениях G и Δt

Результаты исследования погрешностей в определении $\bar{\alpha}$ и $\delta_{эф}$ представлены на рис. 4-5. Из анализа этой информации можно сделать вывод о том, что погрешности определения $\bar{\alpha}$ и $\delta_{эф}$ при помощи системы диагностики существенно зависят от текущих значений *G* и Δ*t* и возрастают с их увеличением. В наибольшей мере эта закономерность свойственна случаю возрастания Δ*t*, когда для минимальных возможных значений Δ*t* погрешности определения $\bar{\alpha}$ и $\delta_{эф}$ составляют порядка 3-4 %, а для максимальных значений Δ*t* они достигают 5-8 %.

Данные зависимости позволяют оценивать лишь погрешности, вызванные 2-процентным отклонением в измерениях одной из исходных величин (*G* либо Δ*t*). Однако для оценки максимально допустимых погрешностей нужно учитывать максимально возможные отклонения. С этой целью для трех наборов аргументов [1) 0,98 *G*, 0,98 Δ*t*; 2) *G*, Δ*t*; 3) 1,02 *G*, 1,02 Δ*t*] были рассчитаны значения $\bar{\alpha}$ и $\delta_{эф}$ при минимально и максимально возможных в производстве базовых уровнях G_{min}=20; G_{max}=30 и Δt_{min}=4; Δt_{max}=8.

Значения относительных погрешностей относительно базовой точки 2 представлены на рис. 6-7.

Полученные максимальные значения погрешностей порядка 20 % являются недопустимо большими. Поэтому аналогичные расчеты были проведены для случая погрешности определения исходных величин *G* и Δ*t* 1 %. Относительная погрешность в измерениях $\bar{\alpha}$ при минимальных и максимальных значениях *G* и Δ*t* составила -2,69; 2,77 % и -9,43; 11,24 % соответственно. Относительная погрешность в измерениях $\delta_{эф}$ при минимальных и максимальных значениях *G* и Δ*t* составила -3,62; 3,62 % и -10,28; 10,07 % соответственно. Очевидно, что для снижения погрешности определения искомых величин при помощи системы диагностики необходимо повышать точность измерения исходных величин. В случае, если уровень точности, соответствующий погрешности определения искомых величин в 1 %, является недостаточным, необходимо дальнейшее повышение точности измерения входящих величин.

Выводы

Исследование расчетных зависимостей, используемых в приведенной системе диагностики, показало, что уменьшение погрешности измерения величин-аргументов в 2 раза позволяет примерно в 2 раза повысить точность определения величин, характеризующих тепловую работу кристаллизаторов МНЛЗ. Так, для выхода на уровень максимально допустимой погрешности определения искомых величин порядка 1 % необходимо использовать измерительные приборы, обеспечивающие точность измерений величин *G* и Δ*t* на уровне ±0,5 %.

Список литературы

1. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали: учебник / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
2. Biryukov A.B. Effect of the casting rate of a billet on the resistance of the mold shell in a high-capacity section continuous caster / A.B. Biryukov, V.V. Kravtsov, E.S. Lolenko // Russian Metallurgy (Metally). – 2009. – Issue 7. – P. 615-617.
3. Дюдкин Д.А. Качество непрерывнолитой стальной заготовки. – К.: Техніка, 1988. – 253 с.
4. Непрерывная разливка сортовой заготовки / А.Н. Смирнов [и др.]. – Донецк: Цифровая типография, 2012. – 417 с.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

5. Birukov A.B. Billet CC's mould heat engineering parameters monitoring system // Metallurgical and mining industry. – 2014. – Vol1. – P. 44-48.
6. Васильева А.В. Совершенствование подходов к диагностике тепловых процессов в кристаллизаторе МНЛЗ / А.В. Васильева, А.Б. Бирюков // Металлургия XXI столетия глазами молодых: материалы II Межд. науч.-практ. конф. студентов. – Донецк: ДонНТУ, 2016. – 306 с.
7. Heat and Mass Transfer: Workbook / S.I. Ginkul [et al.]. – Donetsk: Nord-Press, 2006. – 291 p.

A.V. Vasylieva, A.B. Biryukov /Dr. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

RESEARCH OF DIAGNOSTIC SYSTEM ERRORS WHEN DETERMINING QUANTITIES CHARACTERIZING THE THERMAL PERFORMANCE OF CCM MOLDS

Background. *A significant role in ensuring the rational parameters of the existing continuous casting machine given to the automated control systems, which ultimately should have a comprehensive monitoring and timely analysis of all parameters of CCM. In recent times, there are solutions that allow implementing quick diagnosis of heat-technological processes in the mold based on the data processing about the temperature and consumption of the cooling water in the mold. However, until now, the assessment of the accuracy of determination of desired quantities depending on the errors in measurement of values-arguments has not been implemented.*
Materials and/or methods. *For flow meters and differential thermocouples used on a real CCM the relative error of measurement, as a rule, does not exceed 2 %. The error estimates of indirect measurements for the case when an error in the measurement values-arguments is 2% performed in the paper. For the average density of heat flow in the mold* $\bar{q}$ *and the average heat transfer coefficient in the mold* $\bar{k}$*, the independence of the error from base-level values of G and* Δt *justified. The calculations showed that in the worst case the determination error of these values does not exceed 4%. To study the error of determination of heat transfer coefficient* $\bar{\alpha}$ *and the effective thickness of the gas gap* $\delta_{эф}$ *the functions that display a relative error of the measurements* $\bar{\alpha}(\Delta t)$, $\delta_{эф}(\Delta t)$, $\bar{\alpha}(G)$ *and* $\delta_{эф}(G)$ *considered. For estimation of the maximum possible error, the most unfavorable cases of the results deviations of the measurement of G and* Δt *considered. To calculate the errors under these conditions, we considered two baseline values of* Δt *and G:* $G_{min}=20$; $G_{max}=30$ *and* $\Delta t_{min}=4$; $\Delta t_{max}=8$.
Results. *It is established that at minimum values of G and* Δt *the maximum possible determination error is ±5.3…5.6 % and ±6.52…of 7.97 %. At maximum – ±17.45...24.86 % and ±20.25…21.5 %. For comparison, in the limitation of the maximum possible error of G and* Δt *as the 1% the following results were obtained: relative error in measurement at minimum and maximum values of G and* Δt *amounted to -2.69; 2,77 % -9.43; of 11.24 %, respectively; -3.62; 3.62 % -10.28; of 10.07 %.*
Conclusion. *The calculations showed a significant dependence of accuracy of determining the desired values by means of a diagnosis system on the error of values-arguments determination. The used approach allows determining by the calculation method the permissible measurement errors of values-arguments, providing a preset level of accuracy while setting the desired values.*

Keywords: *diagnostics, heat sink, mold, varietal continuous casting machine.*

Сведения об авторах

А.В. Васильева
Телефон: +380 (66) 919-19-03
Эл. адрес: alexandrasnytkina@gmail.com

А.Б. Бирюков
SPIN-код: 3186-0680
Orcid ID: 0000-0002-8146-2017
Телефон: +380 (62) 301-08-61
Эл. адрес: birukov.ttf@gmail.com

Статья поступила 28.11.2016 г.
© А.В. Васильева, А.Б. Бирюков, 2016
Рецензент д.т.н., проф. С.П. Еронько

УДК 621.78.08

П.А. Гнитиев /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИОННОСТИ ФУТЕРОВКИ ПОДИНЫ ПЕЧЕЙ КАК СРЕДСТВО СОКРАЩЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА

Предложено несколько концептуальных компоновок огнеупорных материалов в камерных печах, заключающихся в размещении легковесных и низкоинерционных огнеупорных материалов на подине печи с целью снижения аккумуляции тепла плотными огнеупорами. Основными предлагаемыми вариантами являются: продольные подставки под заготовки круглого сечения, поперечные подставки под массивные заготовки различных сечений и диаметров, легковесные бетонные блочные подставки, а также использование керамоволокнистых матов и блоков совместно с бетонными подставками.

Ключевые слова: *керамоволокнистые огнеупоры, легковесные бетонные блоки, температурное состояние, охлаждение металла, скорость охлаждения.*

Постановка проблемы

В последние годы по причине роста цен на энергетические ресурсы наблюдается интерес к повышению эффективности использования энергии топлива, а значит и к снижению его затрат. В стремлении к снижению энергозатрат все машиностроительные и металлургические предприятия переходят от использования плотных огнеупорных в качестве материала футеровки печей к низкоинерционным, с теплотехнической точки зрения, керамоволокнистым материалам. При производстве стальных изделий ответственного назначения обязательным этапом производства является термическая обработка. На данном этапе возможно управление свойствами и качеством металла в широком диапазоне путем выбора различных режимов термообработки. При этом важными параметрами, в конечном итоге существенно влияющими на свойства металла, являются темпы нагрева и охлаждения. Первый параметр задается путем регулирования мощности газогорелочных устройств и может быть установлен с большой точностью для каждой садки печи отдельно. Второй параметр напрямую зависит от типа применяемой футеровки, так как тепло аккумулируется как в металле, так и в материале футеровки, и в случае применения плотных огнеупоров реализация технологии воздушного охлаждения в печи становится нецелесообразной. Поэтому производители металлопродукции стремятся расширить применение керамоволокнистых материалов в качестве футеровки печей, однако некоторые поверхности, прежде всего подина печей, в общем случае не могут быть футерованы при помощи керамоволокна стандартными подходами.

Анализ последних исследований и публикаций

Специалистами предприятия ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог» Михалевым К.М. и Есаулковым С.В. проделан сравнительный теплотехнический расчет использования керамоволокна и сделан вывод о том, что при переходе от традиционной футеровки к волокнистой футеровке будет получено снижение потерь тепла при нагреве футеровки до 14,5 раза и до 2,5 раза уменьшение потерь тепла через футеровку. Это позволило говорить о возможном уменьшении расхода газа. Фактическая экономия газа при частичном переходе печи на волокнистую футеровку составила 12 % [1].

В работе [2] авторами также показано, что использование муллитокремнеземнистых волокон (огнеупорные модульные блоки, плиты, войлок и т.д.) позволяет снизить потери тепла за счет аккумуляции на 20-40 %, а также сократить массу футеровки стен и свода на 15-20 %.

Ниже, на рис. 1, представлена общепринятая последовательность футеровки керамоволокнистым материалом стационарной печи с подъемной дверью. Таким образом, традиционно керамоволокном покрывают стены и свод, а футеровка подины печи этим материалом не предусматривается. В свою очередь, это увеличивает тепловую инерционность печи при разогреве и охлаждении, так как подина печи изготовлена из плотных огнеупоров. Для сокращения длительности данных режимов целесообразным является размещение керамоволокна на подине печи.

В некоторых случаях корпус подины изготавливается из стальных профилей, которые

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

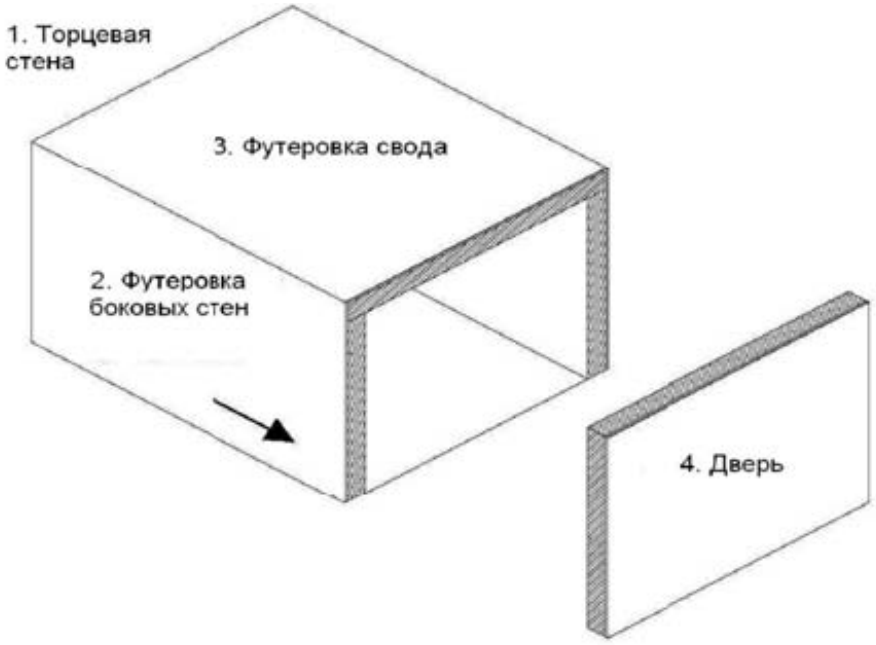


Рис. 1. Последовательность футеровки камерной печи

покрыты листовым металлом и затем футерованы [3]. Части, подвергающиеся воздействию высоких температур, изготовлены из отливок жаропрочного сплава. Корпус подины печи также покрашен термостойкой краской. Под помещен на колеса соответствующей грузоподъемности. В печи футеруются внутренняя поверхность печи, за исключением пода, двери, дымоотводящих каналов.

В работе [4] при помощи разработанной авторами математической модели исследовано влияние параметров футеровки на длительность воздушного охлаждения. Сравниваются две наиболее используемые и концептуальная компоновки футеровки:

– использование полностью плотных огнеупоров толщиной 1 метр;

– использование плотных материалов на подине и керамоволокнистых на стенах и своде;

– использование керамоволокна толщиной 0,2 м на всех внутренних поверхностях печи (концептуальная компоновка).

Исследовано охлаждение четырех стальных цилиндрических заготовок диаметром 1 м и длиной 6 м, охлаждаемых в камерной печи. Результаты исследования представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что использование керамоволокна на подине печи взамен плотного огнеупора существенно снижает требуемое время охлаждения на 10-22 % в зависимости от расхода воздуха. Но широкого применения такое размещение футеровки пока не получило из-за ряда причин.

Использование керамоволокна в качестве футеровки подины печи является концептуальным на сегодняшний день и вызывает ряд сложностей: с одной стороны, к подине предъявляется ряд требований, среди которых способность выдержать массу обрабатываемых заготовок, с другой – изготовление подины исключительно из плотного огнеупора не позволяет снизить тепловую инерционность при различных тепловых процессах и тем самым уменьшить длительность технологических операций. Вследствие своих прочностных характеристик керамоволокнистые материалы не способны выдерживать механические нагрузки от охлаждаемых заготовок, потому в настоящее время подину печей продолжают изготавливать и футеровать плотными огнеупорами.

Процесс нагрева металла в окислительной атмосфере неизбежно связан с появлением окалины на поверхности заготовок. При нагреве и выгрузке металла из печи окалина попадает на подину, и в случае размещения керамоволокна на подине печи возникает необходимость разработки рационального способа удаления окалины с поверхности огнеупора без нарушения целостности покрытия.

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является создание концептуальной футеровки подины камерной печи, обладающей существенно меньшей тепловой инерционностью, чем подина из плотного материала.

Основной материал исследования

Авторами предлагаются несколько вариантов реализации подставок для металла, в основе которых лежит использование бетонных конструк-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

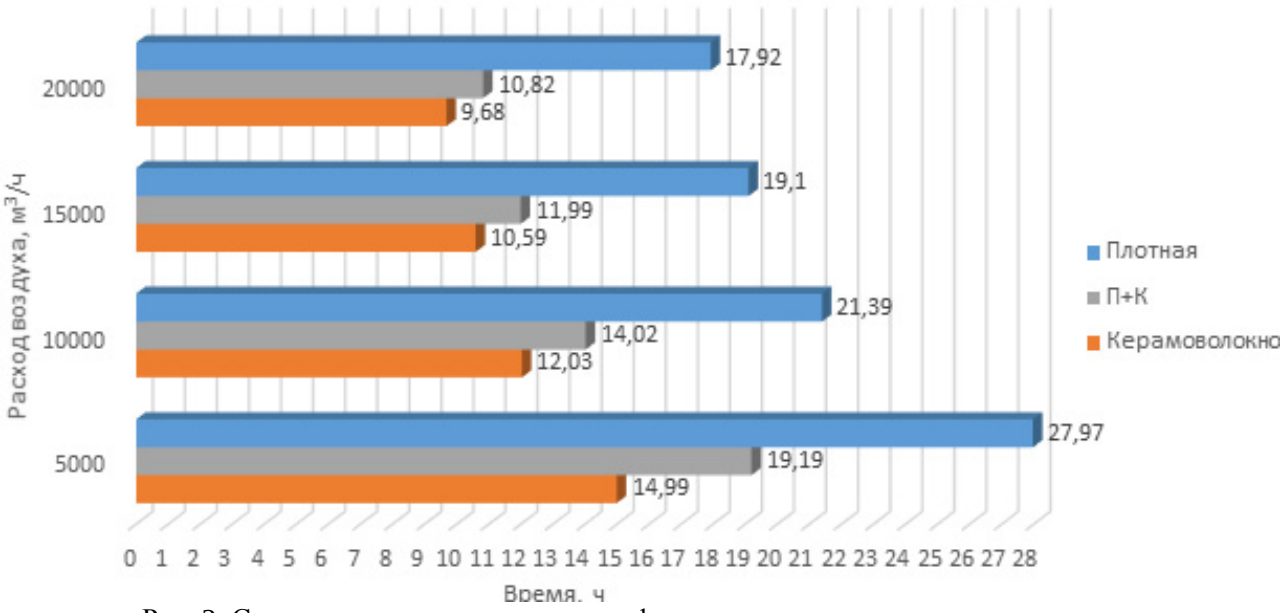


Рис. 2. Сравнение влияния параметров футеровки на длительность воздушного охлаждения металла в камерной печи

ций для опоры металла и покрытие оставшейся части подины керамоволокнистым материалом.

Так как рассматривается процесс производства крупных заготовок ответственного назначения, использующихся для изготовления роторов турбин и прокатных валков, в данной работе будет представлено размещение круглых заготовок в камерной печи.

Так, например, круглые заготовки могут быть размещены на бетонной подкладке следующим образом (рис. 3). С целью предотвращения скатывания металлических заготовок предусмотрены борта. Следует также отметить, что на поверхности подставки предусмотрен уклон в центр, с целью удержания заготовки в фиксированном положении. В противном случае, если верхнюю часть подставки изготовить плоской, то заготовка может скатиться к краю подставки и борта будут выступать в роли концентраторов напряжения, что вызовет их быстрое разрушение с последующим сваливанием заготовки на подину печи.

На виде сверху проекция данной подставки представляет собой прямоугольник. При охлаждении заготовок с небольшим диаметром в печи могут быть размещены несколько охлаждаемых тел, расположенных параллельно друг другу. Пример размещения трех заготовок в печи представлен на рис. 4.

В случае охлаждения крупной заготовки могут быть использованы варианты размещения трех опорных подставок: в центре и по краям заготовки, остальное же пространство подины заполняется керамоволокнистым материалом. В таком случае вид сверху на подставки будет аналогичен рис. 4, но массивная заготовка будет располагаться на всех трех блоках одновременно. Оставшееся пространство заполняется керамоволокном, как показано на рис. 5.

Вместе с тем, проблема снижения тепловой инерционности подины печи может быть частично решена даже при отсутствии керамоволокнистого материала за счет покрытия всей площади подины легковесными блоками.

Для решения проблемы удаления окалины с поверхности керамоволокна на подине предлагается разработка специальных скребковых уст-

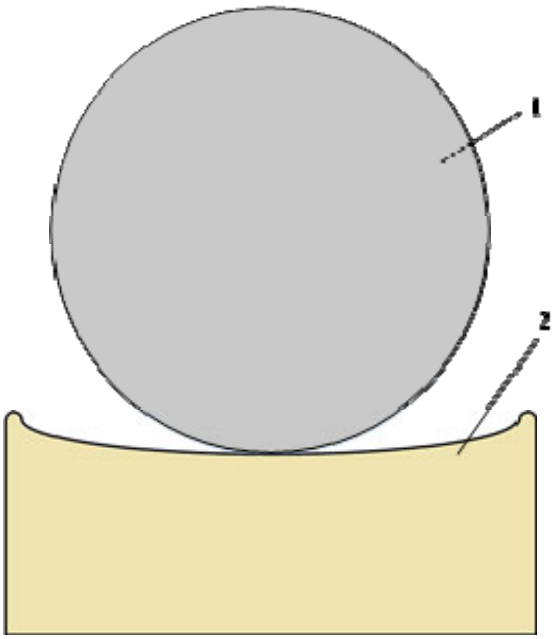


Рис. 3. Вариант способа размещения заготовки на подставке:
1 – металлическая заготовка; *2* – подставка

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

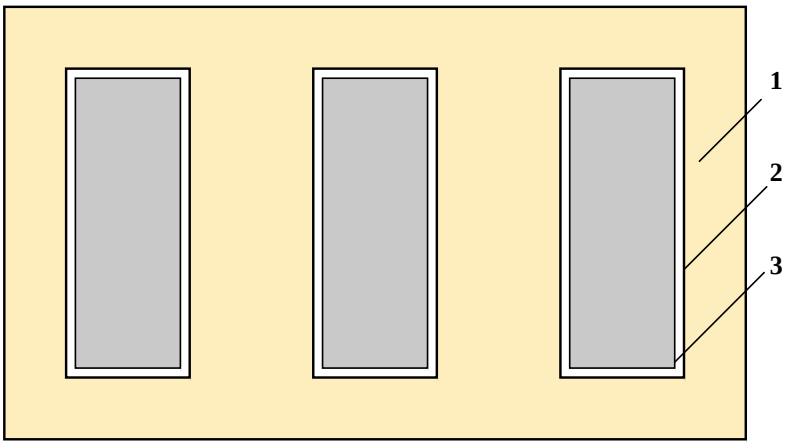


Рис. 4. Подставки и охлаждаемые заготовки (вид сверху):
1 – подина печи, покрытая керамоволокном; *2* – бетонная подставка; *3* – охлаждаемая заготовка

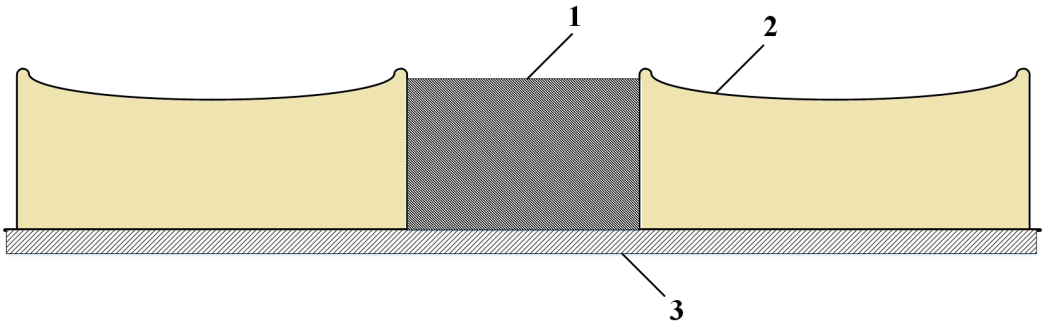


Рис. 5. Способ размещения керамоволокна и легковесных блочных подставок на подине:
1 – керамоволокно между подставками; *2* – подставки для заготовок; *3* – подина печи

ройств, позволяющих удалять окалину с поверхности огнеупора. Для решения данной проблемы может быть применено керамоволокно в виде формованных модулей типа kerablok [5], которые упрощают процесс удаления окалины и других материалов с поверхности изделия вследствие более плотной упаковки при сохранении низкой плотности. Для крепления блоков применяют жаростойкие и жаропрочные байонетные болты или болты с резьбой, которые монтируют на поверхности в соответствии с определенной схемой. Один из вариантов укладки и фиксации керамоволокнистых блоков на подине печи, заполняющих пространство между плотными или облегченными блоками, представлен на рис. 7.

Для снижения массы каждого бетонного элемента конструкции рекомендуется на стадии изготовления выполнять в массиве бетона круглые отверстия в шахматном порядке. Малый диаметр отверстий не позволит развиваться конвекции внутри, в то время как снижение массы может быть существенным. Размер и количество отверстий регламентируется требованиями к прочности подкладок. Сборка из трех блоков представлена на рис. 6.

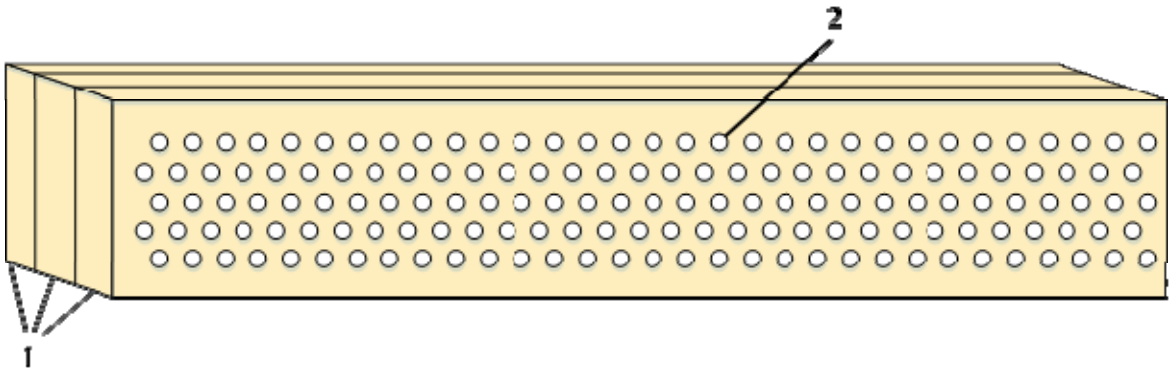


Рис. 6. Вариант изготовления подставки:
1 – сборка бетонных блоков; *2* – пустые отверстия

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

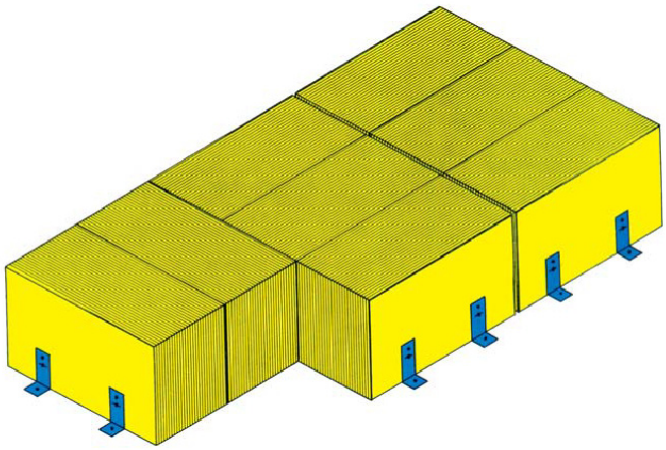


Рис. 7. Способ укладки и фиксации модульных керамоволокнистых блоков на подине печи

Такой вариант укладки позволяет исключить взаимодействие крепежных элементов с потоком продуктов сгорания в камере печи, а также создает практически монолитную конструкцию для предотвращения попадания окалины между блоками и на плотную часть подины. Для исследования влияния параметров теплоизоляционного и огнеупорного материала на длительность воздушного охлаждения металла в камерной печи может быть использована работа [6], в которой представлены основы создания математической модели, учитывающей особенности футеровки при воздушном охлаждении металла.

При математическом моделировании тепловой обработки металла в камерной печи с применением комбинированной футеровки подины наиболее сложным и важным является задание граничных условий с учетом футеровки [7], изготовленной из различных материалов. Для решения задач сложного теплообмена потребуется применение зональных методов [8], суть которых заключается в разбиении пространства камерной печи на участки, называемые зонами, и решении задачи для каждой зоны.

Выводы

В настоящее время лишь на некоторых предприятиях осуществляют попытки размещения керамоволокнистых блоков на подине. Наибольшие трудности связаны с изготовлением подставок подходящей формы, а также с большой вероятностью повреждения волокна, заполняющего пространство между подставками.

Основная идея всех предлагаемых в работе вариантов заключается в снижении присутствия плотной составляющей на подине печи, при обеспечении достаточной прочности. Такой подход позволяет перейти к использованию керамоволокна в качестве дополнительного материала поверхностной футеровки подины, что в свою очередь позволит снизить тепловую инерционность печи и, соответственно, время выхода печи на режимную температуру. В работе представлены следующие варианты реализации концептуальной футеровки: продольные и поперечные подставки под металлические заготовки; подставки из легковесных бетонных блоков; размещение керамоволокна на подине печи для снижения тепловой инерционности, а также для облегчения удаления окалины. Предлагаемые способы реализации легковесных огнеупоров позволяют сокращать длительность воздушного охлаждения на 10-22 % в зависимости от расхода воздуха, а также удалять окалину с подины печи без повреждения поверхностного слоя огнеупора.

Список литературы

1. Качество керамоволокна и футеровок на его основе – ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог» [Эл. рес.]. – Режим доступа: http://lityo.com.ua/статьи/873-качество-кера моволокна-и-футеровок-на-его-основе (дата обращения: 08.09.2016).
2. Мазур В.Л. Производственный опыт теплоизоляции высокотемпературных агрегатов в металлургии / В.Л Мазур, В.А. Рябов, В.В. Мазур // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – №3. – С. 131-134.
3. Печи с выкатным подом, термические камерные печи [Эл. рес.]. – Режим доступа: http://infomundus.com/ru/termicheskaya-obrabotka/pechi-s-vykatnym-podom.html (дата обращения: 08.09.2016).
4. Гнитиев П.А. Исследование влияния типа футеровки на продолжительность воздушного охлаждения металла в камерных печах / П.А. Гнитиев, А.Б. Бирюков // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2016. – Т.59, №11. – С. 759-763.
5. Модульные блоки KERABLOK: [Эл. рес.]. – Режим доступа: http://www.keratech-cz.ru/i-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

ilodi-i-l-ernl-cre/c-ie-ociii-l-ernl-cre/eiaoeui-l-aeiec-kerablok (дата обращения: 08.09.2016).
6. Biryukov A.B. Mathematical model for studying of metal air-cooling process in furnaces / A.B. Biryukov, A.I. Voloshin, P.A. Gnitiev // Steel in Translation. – 2015. – Vol.45, Issue 7. – P. 534-538.
7. Heat and mass transfer. Workbook / S.I. Ginkul, [et al.]. – Donetsk: Nord-Press, 2006. – 291 p.
8. Арутюнов В.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей / В.А. Арутюнов, В.В. Бухмиров, С.А. Крупенников. – М.: Металлургия, 1990. – 239 с.

P.A. Gnitiev /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

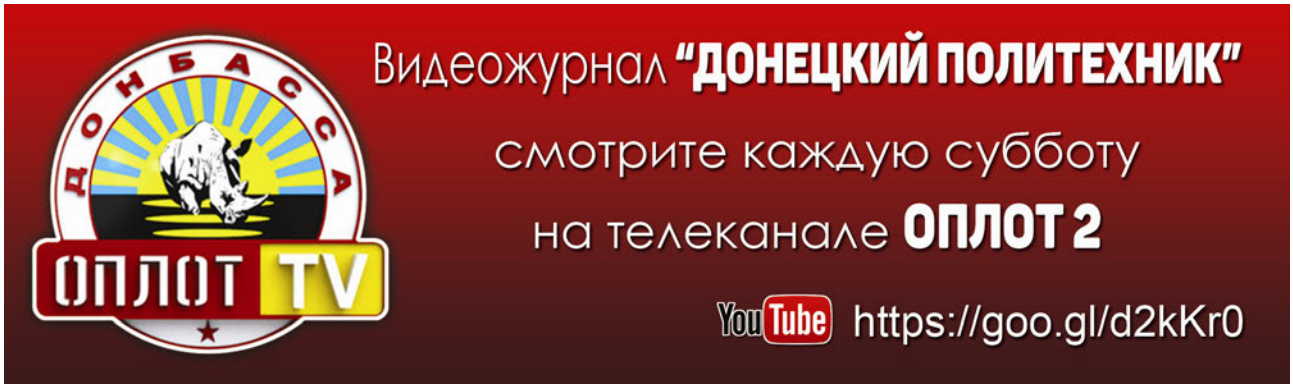
REDUCING THE THERMAL INERTIA OF THE FURNACE BOTTOM LINING AS A MEANS OF REDUCING THE DURATION OF AIR COOLING OF METAL

Background. *A mandatory step in the production of large steel products is a heat treatment process often performed in heat treatment chamber furnaces. In the quest to reduce consumption of energy resources engineering enterprises are moving towards the use of low inertia insulation material – ceramic fiber. Also, the actual problem is the descaling of the furnace bottom made of fibrous materials.*
Materials and/or methods. *In the paper, the analysis of the types and configurations of lining in modern heat treatment chamber furnaces performed. Noted that linings in modern chamber furnaces are not covered with light refractories, and the furnace bottom, as a result, accumulates a significant amount of heat. The authors of the paper propose the use of longitudinal and transverse supports under the metal billets, supports made of lightweight concrete blocks, and the use of ceramic fiber on the furnace bottom to reduce the thermal inertia and to facilitate the descaling.*
Results. *The proposed ways of reducing heat accumulation enable reducing the time of air cooling in the furnace at a 10-22 % depending on air flow. The ways of descaling of ceramic fiber bottom with preserving the integrity of the coating proposed.*
Conclusion. *The proposed ways of placing metal billets on the furnace bottom with the use of lightweight refractories will reduce energy consumption for air cooling.*

Keywords: *ceramic fiber refractories, lightweight concrete blocks, temperature state, cooling metal, cooling rate.*

Сведения об авторе
П.А. Гнитиев
SPIN-код: 1943-4196
AuthorID: 56916104300
Orcid ID: 0000-0001-9266-7969
Телефон: +380 (66) 671-34-71
Эл. почта: gnitiev.pavel@gmail.com

Статья поступила 28.11.2016 г.
© П.А. Гнитиев, 2016
Рецензент д.т.н., доц. Н.И. Захаров



ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

УДК 669.04

С.П. Барков, А.И. Туяхов /к.т.н./
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В УСЛОВИЯХ ПРОСТОЯ

Рассмотрена проблема изучения теплового состояния футеровки печи непрерывного действия, находящейся в состоянии вынужденного простоя. Составлен расчетный алгоритм, позволяющий оценивать изменение остаточного теплосодержания футеровки во времени. Такая информация необходима для определения рациональных технологических параметров по выводу футеровки печи на заданное тепловое состояние после длительного простоя.

Ключевые слова: *методическая печь, тепловые потери, огнеупорная кладка, динамика охлаждения, простои нагревательной печи.*

Постановка проблемы

За последние пять-семь лет в мировой экономике резко сократилось потребление металлопродукции, особенно производимой мелкосортными станами металлургических заводов. На мировом рынке также упал спрос на такие виды прокатной продукции, как уголки разных размеров, швеллеры, круги, квадраты, шестигранники и другие виды, то есть практически большую часть востребованной ранее продукции сортового проката на постсоветском пространстве. В частности, на Донецком металлургическом заводе резко сократился объем больших заказов по всем видам прокатного ряда и составлял в 2013-2014 гг. от сотен до четырех-пяти тысяч тонн на конкретный вид продукции на единичный заказ. Велика вероятность, что и после перезапуска предприятия, в новых условиях, работа сортопрокатного цеха будет отличаться существенной неритмичностью. Вынужденные простои нагревательной печи, а значит, и прокатного стана могут достигать до 40 % календарного времени в год. Методическая нагревательная печь, эксплуатируемая на ДМЗ для нагрева квадратных заготовок под прокатку на стане 400, по сравнению с современными печами отличается повышенными тепловыми потерями.

Таким образом, важной производственной задачей является создание методики по определению остаточного теплосодержания футеровки печи.

Анализ последних исследований и публикаций

Задача определения теплосодержания футеровки может быть решена как с использованием метода математического моделирования, так и с помощью оперативной диагностики на основе анализа моментальных тепловых балансов [1-4]. В этих работах показан ряд подходов, расширяющих информативность математических моделей и возможности использования данных, предоставленных с их помощью, для углубленного анализа теплового состояния. Однако в ряде случаев требуется создание быстродействующих, безусловно, устойчивых и значительно более простых вычислительных алгоритмов. Для этих целей более подходят инженерные методики.

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является разработка инженерной методики, позволяющей прогнозировать тепловое состояние футеровки печи при простое произвольной продолжительности.

Основной материал исследования

В данной работе создается упрощенная инженерная методика расчета теплосодержания футеровки при вынужденном простое печи. Для таких печей потери тепла формируются по трем принципиально различным направлениям: через огнеупорную кладку, на нагрев атмосферного воздуха, поступающего в рабочее пространство через неплотности конструктивных элементов и огнеупорной кладки, охлаждение глиссажных труб в сварочной и методической зонах печи.

Кроме того, имеют место такие трудно определяемые потери, как излучение через отверстия и щели в печи, более высокие потери через стенки крышек технологических и рабочих окон, в которых толщина обмуровки в 2 раза меньше,

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

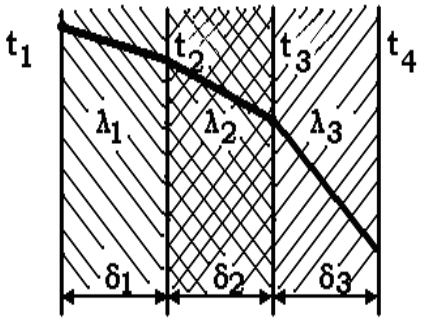


Рис. 1. Распределение температур
в многослойной стенке:
λ_i – теплопроводность материалов *i*-тых слоев;
δ_i – толщина *i*-тых слоев;
t_i – температуры на границах *i*-тых слоев

чем основной кладки. Дополнительные тепловые потери также связаны с более интенсивным охлаждением свода печи, так как распорно-подвесной свод содержит значительное количество металлических крепежных деталей, являющихся стоком тепла в окружающую среду. К трудно определяемым потерям можно отнести охлаждающее действие металлического каркаса печи и проводимые обслуживающим персоналом технологические операции.

В данной работе исследовалась динамика охлаждения рабочего пространства печи в различных зонах при простое, позволяющая определить тепловое состояние каждой зоны для различных интервалов времени простоя печи. На основе законов теплообмена и с учетом экспериментальных данных составлена методика расчета тепловых потерь и разработана программа, позволяющая определить температуру внутренней поверхности кладки печи и остаточное аккумулированное тепло на любом временном интервале охлаждения печи.

Временной интервал охлаждения печи делится на элементарные временные отрезки, в которых печь принимается находящейся в стационарном тепловом состоянии. Данные расчета в первом интервале являются основой для расчета второго интервала, и по такой схеме производится расчет всех временных интервалов охлаждения зон и всей печи в целом. Расчетный алгоритм для определения теплового состояния футеровки на каждом выделенном временном интервале представлен ниже.

Определение начального теплового потока для типовой стенки, состоящей из трех слоев, представлено на рис. 1 [5].

$$q_{нач}=\frac{t_1-t_{ср}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_3}+\frac{1}{\alpha}},$$

где t_1 – температура на внешней границе слоя, °С; $t_{ср}$ – температура окружающей среды, °С; δ_i – толщина футеровки печи, м; λ_i – теплопроводность материалов футеровки печи, Вт/(м·К).

Определение температур на границах слоев:

$$t_2=t_1-q_{нач}\frac{\delta_1}{\lambda_1},$$

$$t_3=t_1-q_{нач}\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}\right),$$

$$t_4=t_1-q_{нач}\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_3}+\frac{1}{\alpha}\right).$$

Определение значения теплосодержания каждого слоя:

$$Q_{акi}=G_iC_i\frac{t_{нi}+t_{кi}}{2},$$

где G_i – масса *i*-того слоя, кг; C_i – теплоемкость *i*-того слоя, кДж/(кг·К); $t_{нi}$, $t_{кi}$ – температуры на начале и конце *i*-тых слоев, °С;

Общее тепло аккумуляции 1 м^2 кладки печи в начальный отрезок τ:

$$Q^{ак}_{общ}=Q_{ак1}+Q_{ак2}+Q_{ак3}.$$

Это общее тепло аккумуляции в конце I периода охлаждения, уменьшающееся за счет теплопроводности через кладку, а также на нагрев подсосанного через неплотности печи атмосферного воздуха и при охлаждающем действии глиссажных труб в сварочной и методической зонах печи.

Потери тепла через кладку печи:

$$Q^{кл}_{пот}=q_{нач}F\Delta\tau,$$

где F – внешняя поверхность кладки, м^2; $\Delta\tau$ – выбранный элементарный отрезок времени, с.

Определение потерь тепла на нагрев атмосферного воздуха, поступающего в рабочее пространство через неплотности печи:

$$Q^{возд}_{пот}=\alpha F_{из}\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_в}}c_в\left(t^{тек}_{ст}-100\right)\Delta\tau,$$

где α – коэффициент расхода для сужающего устройства. Для щелевых сужающих устройств при малых значениях критерия Re этот коэффициент находится в пределах 0,65-0,75; $F_{из}$ – площадь всех щелевых неплотностей, м^2; Δp – вели-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

чина разряжения в рабочем пространстве, Па; $\rho_в$ – плотность атмосферного воздуха, кг/м^2; $c_в$ – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К); $\left(t_{ст}^{тек} - 100\right)$ – выражение, показывающее, что атмосферный воздух, проникающий через неплотности, прогревается в среднем до температуры на 100 ºС меньше температуры стенки в любой части печи и на любом интервале охлаждения. Этот перепад температур получен на основе расчета свободной конвекции с поправкой на время нахождения воздуха в данной зоне печи.

Общая площадь всех неплотностей определялась во время остановки печи и измерялась по степени неплотного прилегания крышек окон к направляющим рамам. Разрежение в печи измерялось показывающим дифманометром и практически не изменялось в процессе остывания печи.

Температура подогрева воздуха, поступающего в рабочее пространство во время остановки печи и уходящего из рабочего пространства, зависит только от температуры внутренней поверхности кладки. Определение температуры подогрева воздуха расчетным путем затрудняется тем, что воздух, нагретый томильной зоной, поступает в следующие зоны, смешиваясь с новыми порциями холодного воздуха и на выходе из печи образуя усредненную температуру.

Скорость движения воздуха в различных поперечных сечениях печи по расчетным данным не превышает 0,2 м/с, что обеспечивает достаточно большой временной интервал контакта воздушного потока с внутренней поверхностью печи, поэтому температура воздуха должна быть близка к температуре поверхности кладки. Расчеты по формулам свободной конвекции для вертикальных (стены печи) и горизонтальных (свод) поверхностей показали сравнительно небольшую разницу температур между воздухом и нагретой поверхностью, которая не превышала 100 °С с небольшим уменьшением, а при длительном охлаждении, более 30 суток, разница температур должна быть незначительной. Для расчета охлаждения печи по разработанной программе принята разность температур между воздухом и стенкой 100 °С.

Определение потерь тепла через глиссажные трубы:

$$Q_{пот}^{вод} = Lq_{тв}\Delta\tau ,$$

где L – длина трубопровода, м; $q_{тв}$ – тепловой поток с поверхности 1 м глиссажных труб к воде в первый момент остановки печи, Вт/м.

Общие потери тепла за один элементарный временной интервал охлаждения отдельной зоны или всей печи:

$$Q_{пот}^{общ} = Q_{пот}^{кл} + Q_{пот}^{возд} + Q_{пот}^{вод} .$$

Оставшееся аккумулированное тепло в кладке после одного интервала охлаждения:

$$Q_{ост}^{ак} = Q_{общ}^{ак} - Q_{пот}^{общ} .$$

Оставшееся тепло в кладке распределяется пропорционально доле аккумуляции каждого слоя. Однако для определения температуры внутренней поверхности кладки необходимо определить оставшееся тепло в первом слое:

$$Q_{ак1}^{ост} = Q_{общ}^{ак} \frac{Q_{ак1}}{Q_{общ}^{ак}} .$$

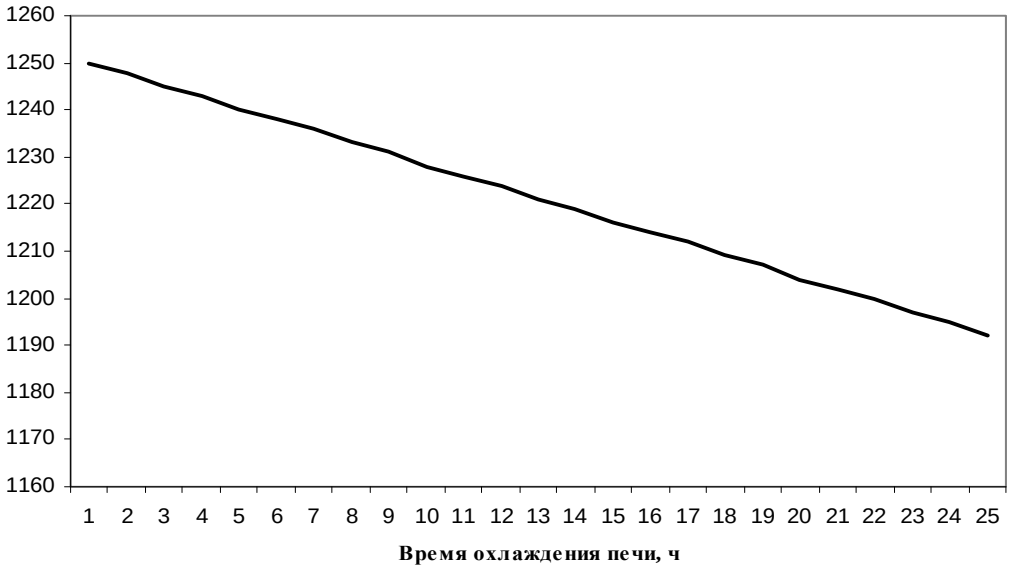


Рис. 2. Температурный график охлаждения печи

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

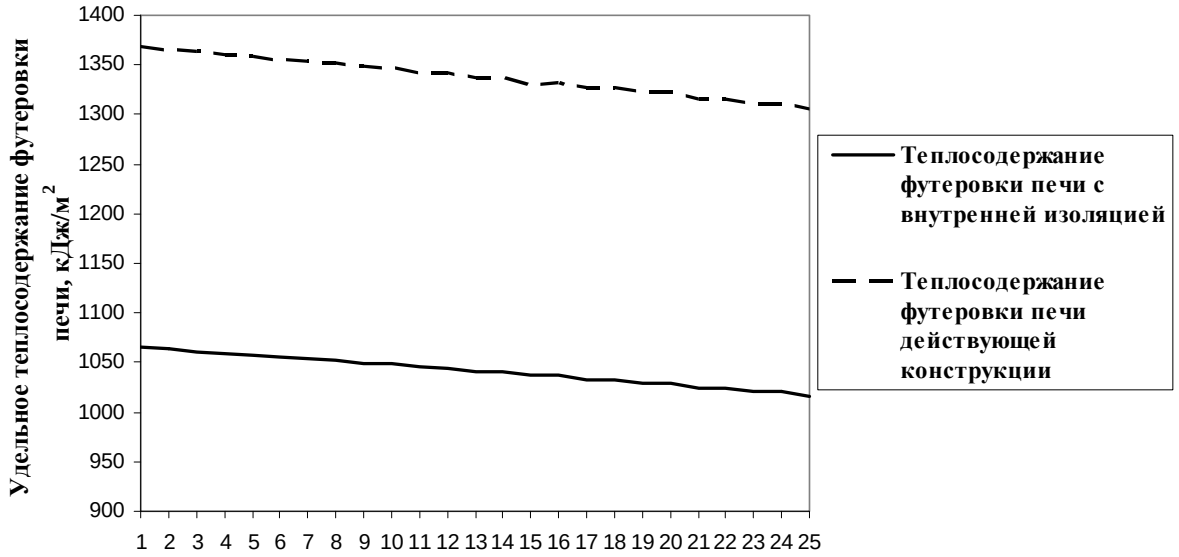


Рис. 3. Изменение теплосодержания футеровки печи в течение суток

Среднемассовая температура первого слоя после одного интервала охлаждения:

$$\bar{t}`_1 = \frac{Q^{ост}_{ак1}}{G_1 c},$$

где G_1 – масса 1 м^2 первого слоя, кг; c – теплоемкость материала первого слоя, кДж/(кг·К).

Температура внутренней поверхности первого слоя после одного временного интервала охлаждения:

$$t`_1 = t_1 \frac{\bar{t}`_1}{\bar{t}_1},$$

где $\bar{t}_1$ – средняя температура основного слоя, °С.

Определение теплового потока через многослойную кладку при полученной температуре поверхности первого слоя:

$$q_2 = \frac{t`_1 - t_{ср}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha}}.$$

Полученный тепловой поток является началом расчета следующего интервала охлаждения печи.

В основу программы расчета было положено допущение о стационарности теплового состояния печи на малом временном интервале, что в первом приближении правомерно ввиду большой тепловой инерции в процессе охлаждения многослойной огнеупорной кладки. Так, расчеты показывают, что при охлаждении печи в течение одного часа количество первоначально накопленного аккумуляционного тепла уменьшается на величину порядка 0,5 %.

Допущение о последовательном переходе печи от одного стационарного теплового состояния к следующему позволяет значительно упростить тепловые расчеты динамики охлаждения рабочего пространства без применения сложных уравнений Фурье для нестационарного нагрева или охлаждения различных тел. Тем более что на решение нестационарной теплопроводности для многослойной кладки оказывают влияние три статьи охлаждения: от подсосанного воздуха, охлаждающего действия глиссажных труб, которые функционально связаны с температурным состоянием внутренней поверхности кладки, и потери через обмуровку печи.

Полученная методика позволила определить температуру футеровки методической печи стана 400 Донецкого металлургического завода в период ее охлаждения. На рис. 2 представлен температурный график охлаждения печи действующей конструкции за первые 24 ч после остановки печи.

Также было определено изменение теплосодержания в футеровке методической печи в течение суток для двух случаев (рис. 3): при охлаждении печи действующей конструкции и для печи, внутреннюю поверхность футеровки которой предлагается покрыть волокнистыми материалами толщиной 0,03 м с коэффициентом теплопроводности 0,06 Вт/(м·К) [6].

Наличие такой информации поможет определить рациональные параметры (время и расход топлива) для вывода печи в рабочее состояние.

Выводы

Разработанная методика позволяет с достаточной точностью прогнозировать тепловое состояние футеровки печи после простоев произ-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

вольной продолжительности. Эта информация необходима для определения рациональных технологических параметров по выводу печи в рабочее тепловое состояние.

Список литературы

1. Бирюков А.Б. Диагностика нагревательных печей периодического действия на основании построения и анализа моментальных тепловых балансов / А.Б. Бирюков, Е.В. Новикова, Т.Г. Олешкевич // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т.36, №2. – С. 29.
2. Современные подходы к диагностике процессов тепловой обработки металла в печах / А.Б. Бирюков [и др.] // Черная металлургия. – 2015. – №1(1381). – С. 50-55.
3. Litvinchev I.S. Investigation of multi-dimensional problems in the control of heat transfer // Mathematical modeling and computational experiment. – 1993. – Vol.1, Issue 2. – P. 119-129.
4. Biryukov A.B. Mathematical model for studying of metal air-cooling process in furnaces / A.B. Biryukov, A.I. Voloshin, P.A. Gnitiev // Steel in Translation. – 2015. – Issue 7. – P. 77-81.
5. Heat and Mass Transfer / S.I. Ginkul [et al.]. – Donetsk, 2006. – 291 p.
6. Бирюков А.Б. Методика для оценки влияния параметров реконструкции футеровки печей на энергосбережение при нагреве материалов / А.Б. Бирюков, И.С. Некрасов // Научные труды SWorld. – 2011. – Т.7, №4. – С. 29-31.

S.P. Barkov, A.I. Tuyahov /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE ENGINEERING METHODS FOR PREDICTING THE LINING THERMAL STATE OF CONTINUOUS FURNACES IN DOWNTIME

Background. *In the market economy, it is often necessary for metallurgical plants to perform individual orders for delivery of relatively small volumes of metallurgic products. The period of waiting for the next order may be for several days. At the Donetsk metallurgical plant, one of the continuous heating furnaces of the small-section rolling mill operates in periodic mode. To save fuel consumption of the heating and reduce the time of reaching the operating mode of the furnace, engineering methods had been used for prediction of the thermal state of the furnace lining.*
Materials and/or methods. *The paper presents the algorithm of heat losses through the heating furnace lining, which allowed estimating the influence of the lining parameters on the cooling dynamics of the furnace. Heat losses are due to transfer of heat from the furnace space through the lining into the environment, heating of the ambient air which is drawn into the working space of the furnace, and heat loss through pipe skids. It is proposed to use the thermal insulation on the inner surface of the furnace, which will reduce the thermal inertia and scale formation on the heated metal surface.*
Results. *The analysis of the thermal state of the cooled furnace was carried out for two cases: for the current furnace design (fireclay and silica refractories); for the furnace the internal surface of which is lined with ceramic fiber. The temperature graph of cooling the inner surface of the furnace is obtained. For the second case - heat content of the furnace lining reduced.*
Conclusion. *The proposed method allows predicting the thermal state of the lining of a cooled furnace. It is proved that thermal insulation materials usage allows reducing energy consumption and the time of reaching the operational temperature of the furnace, as well as reducing the furnace cooling time.*

Keywords**:** *continuous furnace, heat loss, refractory masonry, cooling dynamics, heating furnace downtime.*

Сведения об авторах
С.П. Барков **А.И. Туяхов**
Телефон: +380 (99) 348-77-03
Эл. почта: barkovsp16@gmail.com

Статья поступила 28.11.2016 г.
© С.П. Барков, А.И. Туяхов, 2016
Рецензент д.х.н., проф. А.Б. Бирюков

УДК 338

И.В. Пенькова /д.э.н./
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» (Симферополь)
А.В. Боднар
Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «ДонНТУ» (Горловка)

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИИ И КОММУНИКАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Проанализированы основные принципы управления развитием коммуникаций предприятия. Определена взаимосвязь функций и методов управления коммуникациями, а также последовательность трансформаций функций, методов и средств в управленческие решения. Представлен усовершенствованный механизм управления информацией и коммуникациями на основе нечеткого моделирования.

Ключевые слова: *коммуникации, механизм, предприятие, управление.*

Постановка проблемы

На сегодняшний день информация и коммуникации приобретают все большее значение для сохранения стабильности работы предприятий в связи с постоянно изменяющейся внешней средой, которая требует незамедлительной ответной реакции предприятия в виде соответствующих управленческих решений. Однако управление коммуникациями носит бессистемный характер, что существенно снижает эффективность работы предприятий; не уделяется должное внимание актуализации информации о внутренней и внешней среде в режиме реального времени; коммуникации воспринимаются как вспомогательные функции, что влечет за собой конфликты между уровнями управления, затрудняет их интеграцию в систему управления предприятием, а также не позволяет принимать оперативные управленческие решения. Недооценка важности организационных коммуникаций и отсутствие методологических подходов к формированию механизма управления информацией и коммуникациями приводят к нерациональному использованию ресурсов, затрачиваемых на обеспечение обмена информацией внутри предприятия и с внешней средой, и как следствие, к неэффективному управлению предприятием в целом.

Анализ последних исследований и публикаций

Вопросами управления информацией и коммуникациями занимались такие отечественные и зарубежные авторы, как Н. Морозова [1], Ю. Лысенко [2], А. Леоненков [3], С. Патрицки [4], С. Ильяшенко [5], которые освещали проблемы снижения эффективности процесса коммуникации предприятий, систематизировали знания о системе управления коммуникациями. Однако на сегодняшний день недостаточно сформировано понимание важности применения механизмов управления системой коммуникаций на отечественных предприятиях, не существует общей методологии и концептуально сформулированного подхода их формирования и реализации. В связи с этим открытыми остаются вопросы анализа возможных способов принятия своевременных управленческих решений, критериев и методики оценки их эффективности, а также организационных подходов к управлению коммуникациями.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является формирование теоретико-методологических аспектов развития информации и коммуникаций на предприятии.

Основной материал исследования

Важным направлением совершенствования системы управления предприятием становится решение проблем разработки теоретико-практических основ и методологических подходов к применению механизма управления информацией и коммуникациями, основанного на современных экономико-математических методах, а также его внедрение в контур управления предприятием в условиях кризиса.

С этой целью необходимо усовершенствовать механизм управления коммуникациями, который включает в себя принципы, методы, средства, функции и управленческие решения, направленные на достижение поставленных целей.

Основными принципами управления коммуникациями являются:

– принцип формирования структуры комму-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

никаций, отвечающей потребностям сотрудничества, партнерства и компетентности;

– принцип регулирования масштабов коммуникаций для определенных должностных лиц и подразделений;

– принцип информационного обеспечения коммуникаций, распределение информации для установления и поддержания необходимых коммуникаций;

– принцип регулирования коммуникативной нагрузки различных звеньев организации;

– принцип учета неформальных коммуникаций и использования их в процессах управления;

– принцип локализации негативных коммуникаций и снижения их влияния на деятельность людей;

– принцип полномочий и ответственности;

– принцип рационального использования рабочего времени руководителя;

– принцип целостности;

– принцип однозначности;

– принцип иерархичности [1].

Данные принципы пронизывают все стадии управления, являясь основой формирования механизма управления коммуникациями.

В свою очередь механизм управления коммуникациями базируется на реализации пяти основных функций управления: планирование, организация, мотивация, контроль и регулирование. Набор этих функций пронизывает все его этапы, а также неразрывно связан с методами управления коммуникациями, которые включают в себя совокупность возможных способов влияния управляющей системы на управляемую, необходимых для достижения поставленных целей.

Методы управления коммуникациями – это способы реализации функций менеджмента, которые в соответствии с традиционной классификацией могут быть разделены на организационные, экономические, социально-психологические, административные. Однако такое группирование является достаточно условным, так как они имеют много общих черт и могут взаимодополнять друг друга [2].

Связь базовых функций и методов управления коммуникациями представлена в табл. 1.

Методы управления коммуникациями неразрывно связаны со средствами управления, которые являются инструментами, или рычагами, воздействия управляющего объекта на управляемый. Примеры средств управления, которые могут быть использованы при управлении коммуникациями в рамках соответствующих функций управления, представлены в табл. 2.

Процесс управления – это целенаправленное воздействие субъекта управления на объект управления посредством последовательной реализации функций управления, направленных на достижение поставленных целей предприятия, и может в целом рассматриваться как процесс принятия управленческих решений. То есть имеет место взаимосвязь функций управления и процедур принятия решений, которые являются трудноотделимыми друг от друга видами управленческой деятельности [3].

Элементами механизма управления коммуникациями являются объект управления, а также цели, функции, методы и структуры субъекта управления.

Табл. 1. Взаимосвязь функций и методов управления коммуникациями

Функции управления	Методы управления
Планирование коммуникаций	Экономические методы управления коммуникациями, т.е. совокупность экономических рычагов, которые базируются на учете финансово-экономической составляющей и сопровождения коммуникационной сферы.
Организация коммуникаций	Организационные методы управления коммуникациями, направленные на координацию действий подчиненных, обеспечение четкости, дисциплины и порядка работы коллектива.
Мотивация работников	Социально-психологические методы управления коммуникациями, которые представляют собой совокупность способов влияния на межличностные отношения и связи, социальные процессы, возникающие в коллективе. Формы сплочения и активизации коллектива, в частности работников коммуникационной сферы.
Контроль коммуникаций	Организационно-административные методы управления коммуникациями, которые нацелены на обеспечение результативности контроля коммуникационных процессов.
Регулирование коммуникаций	Административные методы управления коммуникациями, основанные на регламентировании и организации коммуникационной сферы.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 2. Примеры способов управления коммуникациями в соответствии с методами и функциями управления

Функции управления	Методы управления	Средства управления
Планирование коммуникаций	Экономические методы управления коммуникациями	– планирование коммуникационных мероприятий; – оценка их стоимости; – составление бюджета; – анализ затрат на внедрение коммуникационных мероприятий и график их внедрения; – положение о порядке начисления заработной платы
Организация коммуникаций	Организационные методы управления коммуникациями	– приказы об организационно-коммуникационной структуре; – регламенты коммуникационного взаимодействия структурных подразделений; – должностные инструкции работников сферы коммуникаций; – обеспечение рабочих необходимыми инструкциями и правилами
Мотивация работников	Социально-психологические методы управления коммуникациями	– положение о порядке начисления премий, надбавок, доплат работникам коммуникационной сферы; – разработка системы нематериального поощрения трудовой активности работников
Контроль коммуникаций	Организационно-административные методы управления коммуникациями	– отчеты по выполнению коммуникационных мероприятий; – отслеживание графика внедрения коммуникационных мероприятий
Регулирование коммуникаций	Административные методы управления коммуникациями	– проекты корректировок коммуникационных мероприятий; – установление рекомендаций по выполнению текущих оперативных задач

Поскольку механизм управления коммуникациями формируется на основании системного подхода, определим его объект и субъект. Объектом управления является система коммуникаций, включающая социальную, управленческую, информационную, техническую и организационную составляющие.

Субъектом управления выступают руководители управления коммуникациями, каждый из которых воздействует на них путем реализации своих функций. Субъект управления вырабатывает управляющее воздействие в виде приказа, команды, сигнала, которое передается объекту управления.

В связи с этим результатом трансформации методов, функций и средств управления является управленческое решение, выработанное в соответствии с основными принципами управления, которое может служить заключительным этапом работы механизма управления коммуникациями (рис. 1).

Управленческое решение представляет собой выбор альтернативы из всех возможных, направленной на достижение целей предприятия с наименьшими затратами.

Процесс принятия решения состоит из последовательности этапов и процедур, которые можно представить следующим образом:

– диагностика и формулирование проблемы;

– формулирование ограничений и формулирование критериев принятия решений;

– определение альтернатив;

– оценка альтернатив;

– выбор альтернатив;

– реализация решения;

– принятие решения (обратная связь).

Однако степень неопределенности в проблеме управления системой коммуникаций существенна, так как многие оценки носят нечеткий характер. Именно по этой причине была предложена идея усовершенствования механизма управления коммуникациями на основе применения нечеткой модели, которая позволит принимать оптимальные управленческие решения [4].

Механизм управления коммуникациями является составляющей частью внутренней среды предприятия, и его специфика соответствует особенностям конкретного субъекта управления. Каждый элемент механизма по отдельности не обладает теми свойствами, которыми обладает их совокупность, т.е. данному механизму присуща эмерджентность. Иначе говоря, механизм управления как совокупность определенных

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

элементов обладает другим набором свойств, не присущим его подсистемам и блокам.

Главная задача механизма управления коммуникациями – организация процесса управления коммуникациями предприятия. В соответствии с главной задачей назначение механизма управления коммуникациями должно заключаться в следующем:

– формирование системы управления коммуникациями предприятия и обеспечение ее адекватности сложившимся внешним и внутренним условиям деятельности;

– принятие оперативных управленческих решений;

– обеспечение эффективной циркуляции информации в рамках коммуникационного процесса;

– реализация стимулов, направленных на по-



Рис. 1. Структурная схема трансформации функций, методов и средств в управленческие решения

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



Рис. 2. Механизм управления информацией и коммуникациями на основе нечеткого моделирования

вышение эффективности коммуникаций;

– распределение обязанностей между субъектами управления коммуникациями.

Механизм управления коммуникациями представляет собой открытую систему с входом и выходом. На входе в механизм поступают ресурсы, на выходе происходит передача во внутреннюю и внешнюю среду неиспользованных и преобразованных ресурсов. Одним из вариантов выхода работы механизма является управленческое воздействие. В качестве объекта управления механизма выступает система коммуникаций (социальная, управленческая, информационная, техническая и организационная составляющие).

На рис. 2 представлена нечеткая продукционная модель механизма управления коммуникациями. К основным компонентам продукционной модели добавлена система коммуникаций предприятия, предоставляющая исходные данные для блока фаззификации. Управленческое решение, сформированное на выходе блока дефаззификации, позволяет оказать управленческое воздействие на систему коммуникаций в целом [6].

В отдельный блок вынесена база знаний, лингвистические переменные и нечеткие правила, которые позволяют формировать нечеткий вывод и приводить полученные результаты к четкости, т.е. к некоторым числовым значениям, находящимся в заданных рамках изменения.

Методологический подход к формированию механизма управления коммуникациями, в основу которого положен инструментарий нечеткой логики, может быть представлен состоящим из шести основных этапов [5].

Первый этап моделирования состоит в определении показателей. С этой целью необходимо определить набор коэффициентов, которые могут достоверно отразить уровень развития коммуникаций предприятия.

На основе анализа существующих подходов к формированию критериев оценки системы коммуникаций, с позиций качественного и количественного оценивания информации как объекта коммуникаций, предлагается система показателей оценки каждой из составляющих системы коммуникаций (информационной, технической, управленческой, социальной, организационной) (табл. 3).

Второй этап моделирования заключается в определении лингвистических переменных. Для формирования базы знаний при моделировании механизма управления коммуникациями предприятия на основе методов нечеткой логики могут быть использованы два терма для каждой переменной. Для оценки всех показателей формируется единая шкала из двух качественных термов: H – низкий уровень развития коммуникаций, B – высокий уровень развития коммуникаций (табл. 4).

На третьем этапе происходит определение функций принадлежности. С целью снижения неопределенности при разграничении уровней параметра следует построить функции принадлежности всех нечетких термов, как входящих (информационная, техническая, управленческая, организационная, социальная составляющая), так и выходящих переменных (система коммуникаций), что позволит получить возможность осуществлять адекватную классификацию уровней всех показателей.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

С этой целью необходимо определить возможный диапазон входных факторов и результирующего показателя, после чего необходимо задать общий вид функций принадлежностей нечетких термов всех переменных [6].

Поскольку каждая выделенная лингвистическая переменная имеет некоторое количество соответствующих термов, каждый из которых имеет свою функцию принадлежности, целесообразно сделать их детальную интерпретацию. В табл. 4 представлены разбиения на термы входящих переменных для информационной составляющей (X_1-X_3).

С математической точки зрения нечеткое множество для заданных входных (X_1-X_{15}) и выходных переменных, а также функции принадлежности, может быть представлено следующим образом:

$$A=\left\{\begin{array}{l}<x_1\mu_A(x_1)>,<x_2,\mu_A(x_2)>,<x_3,\mu_A(x_3)>,\\ <x_4,\mu_A(x_4)>,<x_5,\mu_A(x_5)>,<x_6,\mu_A(x_6)>,\\ <x_7,\mu_A(x_7),<x_8,\mu_A(x_8)>,<x_9,\mu_A(x_9)>,\\ <x_{10},\mu_A(x_{10})>,<x_{11},\mu_A(x_{11})>,<x_{12},\mu_A(x_{12})>,\\ <x_{13},\mu_A(x_{13})>,<x_{14},\mu_A(x_{14})>,<x_{15},\mu_A(x_{15})>,\\ <x_{16},\mu_A(x_{16})>,<x_{17},\mu_A(x_{17})>,<x_{18},\mu_A(x_{18})>,\\ <x_{19},\mu_A(x_{19})>,<x_{20},\mu_A(x_{20})>,<x_{21},\mu_A(x_{21})>\end{array}\right\},$$

где x_i – символьное обозначение соответствующей лингвистической переменной; $\mu_A(x_i)$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждой соответствующей лингвистической переменной x_i некоторое значение из интервала [0,1]; $x_1\mu_A(x_1)$ – соответствующий кортеж нечеткого множества A.

Четвертый этап заключается в формировании набора правил, которые станут основой для формирования экспертной системы, содержащей в себе такой механизм принятия решений, который бы позволил делать вывод об уровне развития системы коммуникаций предприятия на основе всей необходимой исходной информации, получаемой от пользователя. В основу системы необходимо положить знания, которые относятся к определению уровня развития коммуникаций, и сформировать систему нечетких логических правил.

На пятом этапе происходит настройка параметров модели на основе использования данных, предоставленных предприятиями, имеющими высокий и низкий уровни использования коммуникаций. При оптимизации модели на реальном статистическом материале эффективность ее логического вывода существенно повышается.

Заключительный этап моделирования заключается в принятии управленческого решения,

Табл. 3. Показатели оценивания системы коммуникаций предприятия по информационной составляющей

Показатель	Название коэффициента	Формула для расчета	Краткая характеристика	Границы изменения
X_1	Коэффициент автоматизации получения входящей информации	$K_{Авт}=\frac{I_{Авт}}{I_\Sigma}$, где $I_{Авт}$ – количество информации, получаемой автоматизировано; I_Σ – общее количество поступающей информации	Характеризует количество входящей информации, которая может быть получена автоматизированным путем, к общему количеству поступающей информации во внутреннюю среду	[0; 1]
X_2	Коэффициент автоматизации документооборота	$K_A^{ДО}=\frac{Д_A}{Д_\Sigma}$, где $Д_A$ – количество документов, которые обрабатываются автоматизировано; $Д_\Sigma$ – общее количество документов	Дает возможность оценить соотношение документов обрабатываемых автоматизировано, к общему количеству документов	[0; 1]
X_3	Коэффициент потери информации	$K_{втрати}=\frac{I_{втр}}{I_\Sigma}$, где $I_{втр}$ – количество информации, утерянной в процессе коммуникации; I_Σ – общее количество информации, которая поступила на вход коммуникаций	Характеризует потери информации в процессе коммуникации	[0; 1]

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

Табл. 4. Детальная интерпретация входных лингвистических переменных по информационной составляющей

Обозначение	Название	Терм	Функция принадлежности
X_1	Коэффициент автоматизации получения входящей информации	Низкий уровень развития	$\mu(x;0{,}33;0{,}67)=\begin{cases}1, & x\le 0{,}33,\\ \dfrac{0{,}67-x}{0{,}34}, & 0{,}33<x<0{,}67,\\ 0, & x\ge 0{,}67.\end{cases}$
		Высокий уровень развития	$\mu(x;0{,}33;0{,}67)=\begin{cases}0, & x\le 0{,}33,\\ \dfrac{x-0{,}33}{0{,}34}, & 0{,}33<x<0{,}67,\\ 1, & x\ge 0{,}67.\end{cases}$

позволяющего внести коррективы в работы системы коммуникаций. После построения и настройки параметров модели ее используют для оценки уровня развития системы коммуникаций предприятия на основе рассчитанных входных показателей и экспертных суждений. Этот этап считается законченным, когда для исходной нечеткой переменной определены конечные количественные значения в форме некоторого действительного числа. Для выполнения расчетов на этом этапе использована формула метода центра тяжести:

$$y_i=\frac{\int_{Min}^{Max} x\cdot\mu_i(x)dx}{\int_{Min}^{Max}\mu_i(x)dx},$$

где $\mu_i(x)$ – функция принадлежности соответствующего нечеткого множества; *Min* и *Max* – границы универсума нечетких переменных; y_i – результат дефаззификации.

Расчет выходящей переменной, характеризующей уровень развития информационной составляющей системы коммуникаций по формуле центра тяжести, дал следующий результат:

$$y=\frac{\int_{\min}^{\max} x\cdot\mu(x)dx}{\int_{\min}^{\max}\mu(x)dx}=\frac{\int_{0{,}25}^{0{,}75} x\cdot 0{,}4dx}{\int_{0{,}25}^{0{,}75}0{,}4dx}=$$

$$=\frac{\frac{(0{,}4\cdot x)^2}{0{,}4\cdot 2}\Big|_{0{,}25}^{0{,}75}}{0{,}4\cdot x\Big|_{0{,}25}^{0{,}75}}=\frac{0{,}2\cdot(0{,}5625-0{,}625)}{0{,}4\cdot(0{,}75-0{,}25)}=0{,}5.$$

Это означает, что именно в этом случае (INF=0,5) данная составляющая находится на достаточном уровне развития и не требует принятия управленческих решений.

Применение подобной модели позволяет получить некоторое управленческое решение. В результате использования нечеткого моделирования может быть получен целостный механизм, непосредственно оказывающий влияние на систему коммуникаций предприятия.

Выводы

Таким образом, в статье рассмотрены теоретико-методологические аспекты развития информации и коммуникаций на предприятии. Представлена структурная схема трансформации функций, методов и средств в управленческие решения, которая базируется на взаимосвязи функций и методов управления. Представлен усовершенствованный механизм управления информацией и коммуникациями предприятия на основе теории нечеткой логики. Рассмотрен методологический подход к формированию механизма управления коммуникациями.

Перспективное направление исследования – применение представленного механизма на предприятиях различных отраслей.

Список литературы

1. Морозова Н.А. Управление коммуникациями в организации // Вестник ВГУ. – 2010. – №2. – С. 173-180. (сер.: экономика и управление).
2. Нечеткие модели и нейронные сети в анализе и управлении экономическими объектами: монография / под ред. Ю.Г. Лысенко. – Донецк: Юго-Восток, 2012. – 386 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. Патрицки С. Информационно-коммуникационные технологии как инструмент трансформационных отношений в глобальном мире / С. Патрицки, А. Пляскина // Экономические инновации. – 2011. – №43. – С. 253-260.
5. Инновации в маркетинге и менеджменте: монография / под ред. С.М. Ильяшенко. – Сумы: ООО «Издательский дом «Папирус», 2013. – 616 с.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

6. Боднар А.В. Основные теоретические подходы к управлению коммуникациями в организации // Вестник Запорожского национального университета. – 2012. – №2(14). – С. 5-10.
7. Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors / N.V. Kirianaki [et al.]. – England: John Wiley & Sons, LTD Baffins Lane, Chichester, West Sussex, P019 IUD, 2001. – 275 p.
8. Information Economy Report 2013. The Cloud Economy and Developing Countries // United Nations Conference on Trade and Development UNCTAD. – New York and Geneva, 2012. – 115 p.
9. Virginia W. Kupritz Productive Management Communication: Online and Face-to-Face / W. Virginia, E. Cowell // Journal of Business Communication. – 2011. – Vol.48, Issue 1. – P. 54-82.

I.V. Penkova /Dr.Sci. (Econ.)/
Crimean Federal University (Simferopol)
A.V. Bodnar
Automobile and Road Institute of DonNTU (Donetsk)

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS AT THE ENTERPRISE

Background. *In modern conditions of development of the economy, the information and communications are becoming increasingly important for maintaining the stability of enterprises in the constantly changing environment that requires the immediate response of enterprises in the form of appropriate management decisions.*
Materials and/or methods*. First proposed is the theory of fuzzy logic in the creation of the mechanism of information and communications management, the result of which is the adoption of managerial decisions aimed at improving the efficiency of the whole enterprise. In addition to the main components of the fuzzy production model, the mechanism includes the system of communications of the company that provides original data for the block of fuzzification, the management of the system is based on management decisions generated at the output of the defuzzification block. Considered the methodological approach to the formation of the mechanism of communications management, which includes the steps such as defining performance measures of the communications system (informational, technical, social, managerial and organizational components*) *and linguistic variables, defining membership functions, forming a set of production rules, setting the model parameters, the management decision-making.*
Conclusion. *The considered theoretical and methodological aspects of the development of information and communications at the enterprise allow representing a structural diagram of transforming of functions, methods, and tools into managerial decisions, based on relationships between functions and methods of management. A promising direction of research consists in the implementation of the mechanism of the communication system management at the enterprises of various industries, with the aim of identifying similarities and differences in the development of communication systems and the need for corrections in accordance with the proposed management decisions.*

Keywords: *information, communication, methods, mechanism, efficiency, fuzzy models.*

Сведения об авторах

И.В. Пенькова
SPIN-код: 1067-9469
Телефон: +7 (978) 850-65-05
Эл. почта: panacea_inessa@mail.ru

А.В. Боднар
Телефон: +380 (66) 424-54-39
Эл. почта: linabykova13@ya.ru

Статья поступила 11.12.2015 г.
© И.В. Пенькова, А.В. Боднар, 2016
Рецензент д.э.н., проф. В.А. Кучер

К 65-летию СЕРГЕЯ МАТВЕЕВИЧА САФЬЯНЦА

Ректорат, Ученый совет, весь коллектив Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) горячо и сердечно поздравляет декана физико-металлургического факультета, заведующего кафедрой промышленной теплоэнергетики, профессора, доктора технических наук Сергея Матвеевича Сафьянца с шестидесятипятилетним юбилеем.

Сергей Матвеевич прошел большой жизненный путь от студента металлургического факультета Донецкого политехнического института (ДПИ) (1968-1973 г.г.) до декана физико-металлургического факультета ДонНТУ (с 2006 г. по настоящее время). После окончания вуза с отличием в 1973 г., получив квалификацию инженера-металлурга, он работал в должности инженера, потом старшего научного сотрудника научно-исследовательской части ДПИ. С 1978 г. обучался в аспирантуре ДПИ по специальности «Металлургия черных металлов» (с отрывом от производства), после окончания в 1981 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка и исследование технологии получения металлизованного сырья углетермическим восстановлением концентратов железной руды». С 1981 по 1989 г. Сергей Матвеевич заведовал отделом спецэлектрометаллургии, параллельно получал второе высшее образование, обучаясь на заочном отделении кафедры «Промышленная теплоэнергетика» ДПИ. В 1986 г. получил учёное звание старшего научного сотрудника, в 1990 г. – диплом инженера-промтеплоэнергетика.

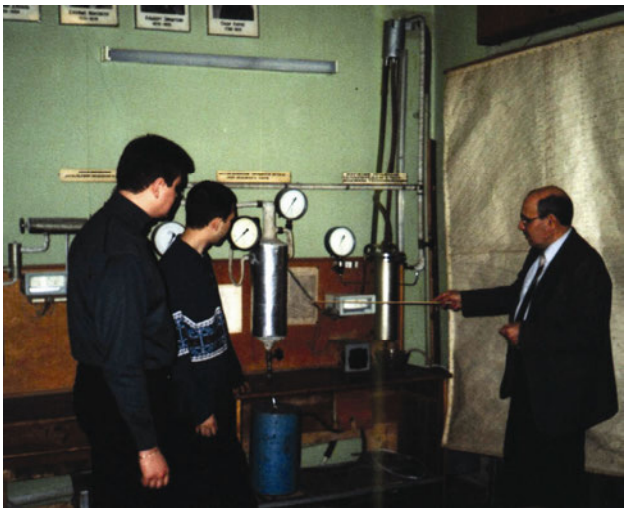
С 1989 по 1995 г. работал в должности доцента кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Донецкого государственного технического университета (ДонГТУ). В 1994 г. защитил докторскую диссертацию «Развитие научных основ и разработка энергоэффективной технологии производства металлизованного сырья для выплавки высококачественных сталей» по специальности «Металлургия черных металлов».

С.М. Сафьянц разработал и реализовал в опытно-промышленных масштабах на установке производительностью 10 тыс. т/год уникальную технологию производства тяжеловесного металлизированного сырья методом углетермического обновления оксидов железа. Министерством черной металлургии СССР технология была рекомендована к внедрению на целом ряде заводов.

С 1995 по 1997 г. Сергей Матвеевич работал в должности профессора кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ученое звание профессора кафедры и присвоено в 1996 г. С января 1997 г. по настоящее время заведует кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» ДонНТУ, на которой обучаются бакалавры и магистры по направлениям «Теплоэнергетика», «Тепловые электрические станции» и «Энергетический менеджмент».

В 1998 г. С.М. Сафьянц был избран членом-корреспондентом Академии горных наук Украины, являлся членом президиума Научно-методической комиссии по энергетике, научно-методического совета (секция «Энергетика и энергосбережение»), Координационного совета по проблемам энергосбережения, а также научным экспертом комитета по разработке государственного стандарта по направлению «Энергетика» при Министерстве образования и науки Украины. В конце 90-х годов С.М. Сафьянц являлся учёным секретарём специализированного совета при ДонГТУ по защитам докторских диссертаций металлургического профиля, с начала 2000-х годов входил в состав редакционных коллегий специализированных научных журналов «Научные труды ДонНТУ» и «Энергосбережение».

С.М. Сафьянц принимал участие в деятельности Международных конференций по инженерному образованию в 1999 г. (Чехия) и 2001 г. (Великобритания). В 2003 г. в рамках выполнения совместной работы по разработке методических материалов по учебной специальности «Энергетический менеджмент» С.М. Сафьянц прошел стажировку в Портсмутском университете (Великобритания). Кроме того, в 2008 г. прошел стажировку в рамках проекта Евросоюза «ТЕМПУС» в университете г. Кадиз (Испания) и в 2009 г. на факультете материаловедения и металлургии Остравского технического университета (Чехия).



С 1996 г. при кафедре «Промышленная теп-

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

лоэнергетика» в результате сотрудничества с UCSC (University City Science Center, USA) по инициативе Сергея Матвеевича были созданы региональный Центр энергоменеджмента, занимающийся научными, организационными и другими аспектами проблемы энергосбережения на территории Донбасса, и Центр промышленной экспертизы (Industrial Assessment Center), главной целью которого являлось внедрение новых энергосберегающих технологий в регионе. Создание Центров позволило университету и кафедре наладить и упрочить связи с научно-исследовательскими учреждениями по всему миру.

Вся трудовая деятельность Сергея Матвеевича тесно сплетена с родным вузом, за это время он приобрел огромный опыт преподавателя, ученого, руководителя трудовых коллективов кафедры и факультета, и этот опыт плодотворно отражается на работе в университете вот уже 43 года.

Много сил и энергии он отдает подготовке высококвалифицированных теплоэнергетиков и металлургов для народного хозяйства страны. Для привлечения молодежи к поступлению на направления подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» и «Металлургия черных металлов» на кафедрах факультета деканом организована и постоянно проводится активная профориентационная работа преподавателей кафедр и представителей студенческого самоуправления факультета на протяжении всего учебного года. Благодаря этим усилиям с 1981 по 2015 г. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» было принято на обучение 1326 студентов дневной и 1387 студентов заочной форм обучения; подготовлено по всем трем специальностям кафедры: на дневной форме обучения – 1115 бакалавров, 1037 специалистов и 78 магистров; на заочной – 1254 бакалавра, 1178 специалистов и 2 магистра; в экстернатуре – 2 экстерна.

Благодаря незаурядным организаторским способностям Сергея Матвеевича и слаженной работе коллектива кафедры «Промышленная теплоэнергетика» квалификация выпускников кафедры 2014 г. была высоко оценена по результатам проведения государственных аттестационных испытаний специалистами кафедры «Тепловые электрические станции и теплотехника» энергетического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И Платова (г. Новочеркасск, Россия). В экстернат университета были зачислены 1 выпускник магистратуры и 9 выпускников специалитета кафедры в качестве экстернов для прохождения государственной итоговой аттестации на образовательную программу по направлению подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Тепловые электрические станции» (образовательный уровень «магистр» – 1 выпускник, «специалист» – 17 выпускников). Все специалисты в июле 2014 г. достойно сдали госэкзамен и защитили дипломные проекты, магистр также успешно защитил магистерскую диссертацию. Таким образом, студенты помимо дипломов ДонНТУ получили дипломы о втором образовании российского образца и сегодня успешно трудятся на предприятиях теплоэнергетики родного Донбасса.

Сергей Матвеевич являлся научным руководителем научно-исследовательских работ (НИР), выполняемых сотрудниками кафедры «Промышленная теплоэнергетика» в области топливо- и энергосбережения, снижения вредных выбросов промышленных предприятий черной и цветной металлургии, машиностроения, угольных, химических, нефтегазовых областей, теп-



ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org



ловых электростанций, коммунального хозяйства, транспорта региона в окружающую среду за счет создания экологически чистых и энергосберегающих технологий; разработки теоретических основ газификации углей с низкой реакционной способностью с целью перевода котлоагрегатов на генераторный газ; разработки и внедрения продуктивных агрегатов для сушки полидисперсных материалов, разработки без- и малоотходных технологий для повышения срока действия и эффективности устройств для сгорания топлива и генерации тепла. За последние годы выполнены 6 хоздоговорных, 3 госбюджетных фундаментальных, 2 госбюджетных прикладных и 2 кафедральных НИР. Общий объем выполненных за это время работ составил около 1 млн. грн.

Много внимания Сергей Матвеевич уделяет материально-техническому обеспечению факультета и кафедры ДонНТУ. Факультет за последние годы сильно преобразился и это заметно с первых же шагов: заменены входные двери корпуса, плитка в холле первого этажа, отремонтированы входные ступени и парадная лестница корпуса, туалеты, система отопления и пожаротушения, увеличилось количество металлопластиковых окон и компьютерной техники в корпусе. Выполнен капитальный ремонт аудиторных помещений, закрепленных за кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», за счет средства спонсоров (ДТЭК, Старобешевской, Славянской, Кураховской и Луганской ТЭС), с учетом благоприятных санитарно-гигиенических условий для обучения студентов и работы преподавателей.

Значительное внимание Сафьянц С.М. уделяет методическому обеспечению читаемых дисциплин. За годы работы на должности профессора и заведующего кафедрой было подготовлено и опубликовано по результатам проведения НИР и руководства научной работой студентов более 110 печатных работ и авторских свидетельств, из них 75 научного и 35 учебно-методического характера.

Учебное пособие «Метрология и стандартизация в энергетике», в разработке которого принимал участие Сергей Матвеевич, по результатам конкурса на «Лучшее издание ДонНТУ 2016 г.» было награждено грамотой в номинации «За попытку внедрения точности измерений в безмерном пространстве энергетики».

Руководимые Сергеем Матвеевичем студенты и аспиранты неоднократно награждались высокими наградами и дипломами. Под научным руководством Сергея Матвеевича подготовлены к защите 3 кандидатские диссертации и защищена 1 докторская диссертация. В настоящее время С.М. Сафьянц выполняет научное руководство аспирантом 2-го года обучения.

Сергей Матвеевич Сафьянц активно участвует в работе учебно-издательского совета университета, является руководителем рабочих групп по разработке государственных образовательных стандартов и основных образовательных программ высшего профессионального образования по профилям бакалаврской подготовки и по магистерским программам направлений подготовки 13.03.01 и 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», председателем учебно-методических комиссий по указанным направлениям подготовки, а также председателем Совета физико-металлургического факультета.

Уважаемый Сергей Матвеевич! Ваша широкая эрудиция, скромность, общительность и доступность, умение найти достойный выход при решении сложнейших вопросов, возникающих в жизни кафедры, факультета и университета снискали к Вам глубокое уважение со стороны преподавателей, сотрудников и студентов ДонНТУ.

Залогом успехов в труде всегда были и будут Ваша неутомимая жизненная энергия, активная жизненная позиция и высокая самоотдача.

Желаем Вам, дорогой Сергей Матвеевич, крепкого здоровья, долгих лет жизни, семейного благополучия, новых творческих успехов и большого личного счастья!

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

ПАМЯТИ ВИКТОРА ЯКОВЛЕВИЧА СЕДУША

9 декабря 2016 г. ушел из жизни известный ученый в области механического оборудования металлургических заводов, д.т.н., проф. Седуш Виктор Яковлевич.

Виктор Яковлевич родился в 1928 г. в г. Алчевске Луганской обл. С отличием окончил в 1948 г. Ворошиловский металлургический техникум по специальности «Электрооборудование промышленных предприятий». В 1953 г. окончил Донецкий индустриальный институт (ныне ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет») по специальности «Механическое оборудование заводов чёрной и цветной металлургии» (выпускник 1953 г., гр. МЕХ-8).

В 1953-57 гг. мастер, начальник участка смазки и гидравлики, механик цеха, помощник начальника цеха по оборудованию блюминга Ворошиловского металлургического завода (ныне ПАО «Алчевский металлургический комбинат»). С 1957 г. ассистент кафедры «Механическое оборудование заводов чёрной металлургии» (МОЗЧМ) Донецкого индустриального института.

В 1963 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Исследование пушек для забивки чугунной лётки доменной печи». Научный руководитель – к.т.н., доц. М.З. Левин.

С 1964 г. доцент, а с 1978 г. профессор кафедры МОЗЧМ. В 1969-72 гг. декан металлургического факультета (ныне физико-металлургический факультет), в 1972-2009 гг. заведующий кафедрой МОЗЧМ.

Под руководством Седуша В.Я. впервые в металлургии разработана и внедрена на блюминге ОАО «Донецкий металлургический завод» автоматизированная система учёта и анализа отказов механизмов и машин на базе электронно-вычислительных машин, позволившая снизить время их простоев в несколько раз. Аналогичные системы были разработаны для доменного цеха ОАО «Днепровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского» и слябинга металлургического комбината ОАО «Запорожсталь».

Выступление Седуша В.Я. в 1984 г. на Совещании Главных механиков Министерства чёрной металлургии СССР, проходившее в г. Донецке стало отправной точкой в изучении вопросов технического диагностирования металлургических машин.

В 1984-93 гг. научный руководитель Отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Техническое обслуживание и диагностика металлургического оборудования» (ОНИЛ ТОиД) Министерства чёрной металлургии СССР. В рамках ОНИЛ ТОиД начала свою работу школа по техническому диагностированию. Всего подготовлено порядка 300 специалистов. Обучение в школе прошли представители практически всех металлургических заводов и комбинатов СССР, среди которых: Липецкий, Орско-Халиловский и Череповецкий металлургические комбинаты, Белорусский и Молдавский металлургические заводы, Волжский трубный завод, металлургический комбинат Криворожсталь, Амурсталь, Южнотрубный завод, Никопольский завод ферросплавов, Донецкий металлургический завод, Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича и многие другие.

В 1994 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук «Обобщение теоретических и экспериментальных исследований с целью разработки научной базы повышения безотказности металлургического оборудования».

С 1974 г. член специализированного учёного совета Д 11.052.01 по защитам кандидатских и докторских диссертаций, в 2001-07 гг. член экспертного совета по отраслевому машиностроению Высшей аттестационной комиссии Украины. Под его руководством защищены 7 кандидатских и 7 докторских диссертаций.

С 2001 по 2015 гг. исполнительный директор Ассоциации механиков «АссоМ» (г. Донецк). С 2005 по 2009 гг. главный редактор, а с 2009 по 2014 гг. член редакционного совета Международного научно-технического и производственного журнала «Металлургические процессы и оборудование».

Автор первого учебника «Надёжность, ремонт и монтаж металлургических машин» (четыре издания), соавтор учебников «Механическое оборудование доменных цехов», «Механическое оборудование сталеплавильных цехов» и «Техническое диагностирование механического оборудования».

Более трех тысяч выпускников кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии», учившихся у В.Я. Седуша, в настоящее время успешно занимаются вопросами подготовки и организации монтажа, эксплуатации, обслуживания, ремонта и диагностики металлургического оборудования на предприятиях ближнего и дальнего зарубежья.

Светлая память о Викторе Яковлевиче Седуше навсегда останется в сердцах тех, кто с ним работал и сотрудничал, его учеников и последователей!

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, НАПРАВЛЯЕМЫМ В РЕДАКЦИЮ

1. Основной текст статьи должен содержать такие необходимые элементы, выделенные заголовками, как:

– **постановка проблемы** в обобщенном виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;

– **анализ последних исследований и публикаций**, в которых начато решение данной проблемы и на которые опираются авторы, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена данная статья;

– формулировка **цели (задачи) исследования**;

– изложение **основного материала исследования** с полным обоснованием полученных научных результатов;

– **выводы** по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.

2. Статья, основной текст вместе с рисунками и др. нетекстовыми элементами, должна быть объемом **5…8 полных** страниц формата А4 (210×297 мм) с полями **20** мм с каждой стороны. Рукопись статьи необходимо оформлять с помощью редактора MS Word. Шрифт – Times New Roman, **12** пт, стиль – обычный. Межстрочный интервал – одинарный. Расстановка переносов – автоматическая. Выравнивание – по ширине страницы. Страницы не нумеровать.

3. Структура статьи (каждый элемент с новой строки): код УДК; инициалы и фамилии авторов с указанием ученой степени каждого (количество авторов **не более 3-х** от одной организации); название организации, город, где работают авторы; название статьи; аннотация на русском языке (объемом **не более 300** символов); ключевые слова (**от 3 до 5**); основной текст статьи; список литературы. Сокращение слов в тексте, рисунках и таблицах не допускается.

В аннотации на русском языке сжато излагается формулировка задачи, которая решена в статье, и приводятся полученные основные результаты.

В конце статьи, после списка литературы приводятся инициалы и фамилии авторов, ученые степени, организации, города, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке

Аннотация на английском языке должна представлять собой резюме, призванное выполнять функцию независимого от статьи источника информации. Резюме должно быть информативным (не содержать общих слов), оригинальным (не являться калькой аннотации на других языках), содержательным (отражать основное содержание статьи и результаты исследований), структурированным (следовать логике описания результатов в статье), компактным, но не коротким (объемом **от 250 до 300** слов). Типичная структура резюме: состояние вопроса (**Background**); материалы и/или методы исследования (**Materials and/or methods**); результаты (**Results**); заключение (**Conclusion**).

Внимание! Убедительная просьба не разбивать текст на колонки, как это сделано в журнале, т.к. это усложняет редакторскую обработку статьи!

4. **Обязательным условием** является наличие в статье графического материала (рисунков, графиков, схем, фотографий), размером **не менее 80×80** мм, в формате *.tif или *.jpg, разрешением **не менее 300** dpi. Графический материал внедренными объектами размещается по тексту после первого упоминания, не разрывая текста абзаца. Все позиции, обозначенные на рисунках, должны быть объяснены в тексте. Под каждым рисунком указывается его порядковый номер и название (выравнивание по центру страницы, без точки в конце). Рисунки должны иметь один интервал (пустую строку) сверху и снизу.

Внимание! Запрещается внедрять графические материалы в виде объектов, связанных с др. программами, например, с КОМПАС, MS Excel и т.п. Рисунки, выполненные непосредственно в MS Word не принимаются.

5. Математические формулы необходимо выполнять с помощью редактора формул **MS Equation Editor 3.0** в соответствии со следующими размерами: обычный символ – **11** пт; крупный индекс – **7** пт; мелкий индекс – **5** пт; крупный символ – **13** пт; мелкий символ – **8** пт.

Все величины, входящие в формулы, должны быть объяснены в тексте. Формулы должны иметь один интервал (пустую строку) сверху и снизу. Формулы выполняются курсивом, **кроме цифр и символов греческого алфавита**. Формулы нумеруются (справа в круглых скобках, не отступая от формулы) **только в том случае**, если в тексте на них имеются ссылки.

Внимание! Количество формул в статье **не более 5**. Запрещается выполнять формулы с помощью MathCAD или др. аналогичных программ.

6. Таблицы должны иметь порядковый номер и название (выравнивание по центру страницы, без точки в конце) и располагаться по тексту после первого упоминания, не разрывая текста абзаца. Таблицы должны иметь один интервал (пустую строку) сверху и снизу.

7. **Обязательным условием** является наличие в статье списка литературы, который приводится после выводов через один интервал (пустую строку) под заголовком **Список литературы**. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу по тексту заключаются в квадратные скобки. В списке литературы должно быть **не менее 3-х** публикаций, вышедших **за последние 5** лет, а также **не менее 3-х** зарубежных (англоязычных) публикаций.

Для принятия решения о публикации статьи в журнале, в адрес редакции необходимо выслать:

– сопроводительное письмо (с указанием, что статья ранее нигде не публиковалась) от организации, где работают авторы и сведения об авторах статьи;

– электронный вариант статьи (имя файла составляется из фамилий авторов, например, ИвановПетров.doc) и сведений об авторах (имя файла – ИвановПетров_sved.doc).

В сведениях об авторах для каждого соавтора обязательно должен быть указан адрес персональной эл. почты.

Для ускорения подготовки очередных номеров журнала, просьба передавать сопроводительное письмо в отсканированном виде, электронный вариант статьи и сведения об авторах по эл. почте на адрес: **vestnikdonntu@gmail.com**

Внимание! Убедительная просьба, проверить получение редакцией материалов любым из способов (по телефону **+380 (66) 176-72-65** или эл. почте).

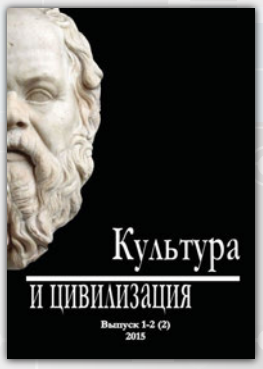
Редакция оставляет за собой право возвращать статьи авторам на доработку в следующих случаях: статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции журнала, приведенным выше; статья требует доработки в соответствии с замечаниями рецензента и редакторов; отсутствует сопроводительное письмо от организации, где работают авторы или сведения об авторах.

Требования к рекламно-информационным материалам, публикация которых оплачивается, согласовываются непосредственно с редакцией журнала.

ISSN 2518-1645/2518-1653 (print/online). Интернет: vestnik.donntu.org

НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ Донецкого национального технического университета

Научный журнал «Культура и цивилизация»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №340 от 06.11.2015

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
09.00 – Философские науки;
23.00 – Политология;

Подробная информация - http://cic.sgi.donntu.ru

Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016
Включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР (приказ МОН ДНР №1134 от 01.11.2016 г.)



Международный научный журнал «Проблемы горного давления»

Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №339 от 06.10.2015

ISSN 1682-1092 (print), 2413-581X (online)
Договор с РИНЦ от 14.06.2016 г. №425-07/2016

Периодичность – 4 раза в год

Научные направления:
05.26 – Безопасность деятельности человека;
25.00 – Науки о земле;

Подробная информация - http://pgd.donntu.ru

Сборник научных трудов «Прогрессивные технологи и системы машиностроения»



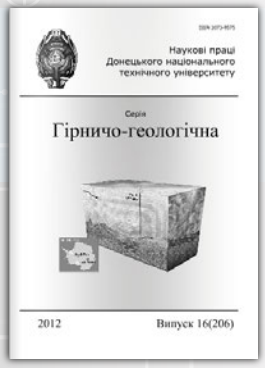
Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №324 от 06.08.2015

Периодичность – 4 раза в год

Научные направления:
01.02 – Механика;
05.02 – Машиностроение и машиноведение;
05.11 – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы;

Подробная информация - http://ptsm.donntu.ru

ISSN 2073-3216 (print), 2518-7120 (online)
Договор с РИНЦ от 12.04.2013 г. №177-04/2013



Сборник научных трудов «Научные труды ДонНТУ. Серия: горно-геологическая»

Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №304 от 06.08.2015

ISSN 2073-3216
Договор с РИНЦ от 23.07.2013 г. №427-07/2013

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
25.00 – Науки о земле;
05.05 – Транспортное, горное и строительное машиностроение;

Сборник научных трудов «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе»



Свид-во о временной регистрации в Министерстве информации ДНР №310 от 06.08.2015

Периодичность – 2 раза в год

Научные направления:
01.01 – Математика;
05.13 – Информатика, вычислительная техника и управление;
25.00 – Науки о земле;

ISSN 2411-720X (print), 2413-0834 (online)
Договор с РИНЦ от 09.04.2015 г., № 214-04/2015

Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ) – родоначальник инженерного образования в Донбассе, признанное в мире высшее учебное заведение, активно осуществляющее международное научно-техническое сотрудничество с более чем 80 известными университетами из 25-ти стран мира и 32 иностранными фирмами, являющееся членом 24-х ведущих международных образовательных ассоциаций.

С момента основания в 1921 году старейший технический вуз Донбасса подготовил свыше 230 тысяч инженерно-технических кадров различной квалификации, из которых: **160 тысяч** – специалисты и магистры, **60 тысяч** – бакалавры, **15 тысяч** – младшие специалисты; около **2,5 тысяч** иностранных студентов из 70-ти стран мира.

Основные задачи ДонНТУ на 2016-й год:

1) Восстановление контингента студентов.
2) Восстановление количественных и качественных показателей преподавательского состава.
3) Восстановление и развитие материально-технической базы.
4) Поиск и реализация инновационных путей развития.
5) Укрепление репутации ДонНТУ как важнейшего в Донбассе и одного из наиболее значительных на всем русскоязычном пространстве научно-образовательных центров технического направления.

ДонНТУ уверенно смотрит в будущее и достойно, с новыми достижениями, встретит свой 95-летний юбилей в 2016 году!



Адрес главного 1-го корпуса: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58
Интернет: http://donntu.ru; http://science.donntu.ru

Ректор: +380 (62) 337-17-33
Справка: +380 (62) 301-07-09
Канцелярия: +380 (62) 301-07-69
Приемная комиссия: +380 (62) 301-08-89

Научно-исследовательская часть: +380 (62) 304-60-82
Центр карьеры и общественных коммуникаций: +380 (62) 334-28-35
Издательство «Донецкая политехника»: +380 (62) 304-92-51