

ДОНБАССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Выпуск 12 (55) 2018



**Сборник
научных трудов
Донбасского государственного технического
университета**

Сборник
Выходит 1–4 раза в год
Основан в июне 1999 г.
Выпуск 12 (55) 2018

**Збірник наукових праць
Донбаського державного технічного університету**

Збірник
Виходить 1–4 рази на рік
Заснований у червні 1999 р.
Випуск 12 (55) 2018

Collection of Scientific Papers of DonSTU

Collection
Publishing 1–4 times a year
Founded in June 1999
Issue 12 (55) 2018

Алчевск
2018

УДК 622(06) + 669(06) + 69(06) + 65.011.56 +
+ 621.3 + 33 + 621.37 + 1

**Сборник научных трудов
Донбасского государственного
технического университета**

Сборник

Выпуск 12 (55) 2018

**Основатель:
Донбасский государственный технический
университет**

*Свидетельство Министерства информации,
печати и массовых коммуникаций ЛНР
о государственной регистрации средства массовой
информации МИ-СГР ПИ 000003
от 05.02.2016*

*Приказом Министерства образования и науки
Донецкой Народной Республики от 2 мая 2017 г.
№ 464 сборник научных трудов включён в Перечень
рецензируемых научных изданий, в которых
должны быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций на соискание учёной
степени кандидата наук, на соискание учёной
степени доктора наук, утверждённый приказом
Министерства образования и науки Донецкой
Народной Республики от 1 ноября 2016 г. № 1134,
согласно приложению 1.*

*Приказом МОН ЛНР № 911-ОД от 10.10.2018
сборник научных трудов ДонГТУ внесён в Перечень
рецензируемых научных изданий, в которых
должны быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций на соискание учёной
степени кандидата наук, на соискание учёной
степени доктора наук, утверждённый приказом
Министерства образования и науки Луганской
Народной Республики от 15 мая 2018 г. № 477-ОД.*

*Рекомендовано учёным советом
ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»
(Протокол № 4 от 30.11.2018)*

Включён в наукометрическую базу данных РИНЦ

Формат 60×84½.

Усл. печат. л. 7,9.

Заказ № 367.

Тираж 100 экз.

Издательство не несёт ответственности за содержание
материала, предоставленного автором к печати.

Адрес редакции, издателя и основателя:
ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный
технический университет»
пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР
94204

E-mail: info@dstu.education
Web-site: <http://www.dstu.education>

ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ ЦЕНТР,
ауд. 2113, т./факс 2-58-59

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя
и распространителя средства массовой информации
МИ-СГР ИД 000055 от 05.02.2016.

Главный редактор

Зинченко А. М. — к.э.н., и.о. ректора

Заместитель главного редактора

Новохатский А. М. — д.т.н., проф.

Редакционная коллегия:

Литвинский Г. Г. — д.т.н., проф.

Финкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнеев С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. А. — к.т.н., доц.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницкий В. Н. — к.т.н., проф.

Зелинский А. Н. — к.т.н., проф.

Куберский С. В. — к.т.н., проф.

Денищенко П. Н. — к.т.н., доц.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух Н. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н., доц.

Псюк В. В. — к.т.н., доц.

Скомская С. А. — секретарь редакционной
коллегии.

Для научных сотрудников, аспирантов,
студентов высших учебных заведений.

Язык издания:

русский, украинский и английский

Компьютерная вёрстка и корректура
Исмаилова Л. М.

© ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018

© Чернышова Н. В., художественное
оформление обложки, 2018

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

GEOSCIENCES

УДК 622.28.044:622.261.2

д.т.н. Новиков А. О.,
к.т.н. Выговский Д. Д.,
к.т.н. Шестопалов И. Н.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

О ПРЕДЕЛЬНЫХ СРОКАХ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В статье приведён анализ работ, посвящённых изучению механизма формирования вокруг горных выработок зоны неупругих деформаций и прогнозированию проявлений горного давления. Описаны результаты комплексных наблюдений, направленных на установление особенностей деформирования породного массива, вмещающего выработки с рамной крепью. Была определена область рационального применения усиления рамной крепи анкерами.

Ключевые слова: крепь, замерная станция, репер, зона разрушенных пород, смещения реперов во времени.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Угольная промышленность — одна из ведущих отраслей народного хозяйства, важнейшая задача которой в условиях рыночной экономики состоит в повышении эффективности производства и снижении себестоимости продукции. Большим резервом повышения эффективности работы угольных шахт является своевременное применение способов охраны горных выработок, так как в себестоимости одной тонны угля до 45 % занимают затраты на поддержание.

Применяемая в настоящее время металлическая арочная крепь, которой закреплено около 90 % протяжённости поддерживаемых горных выработок, практически исчерпала свои возможности и не обеспечивает их устойчивое состояние на больших глубинах, так как её конструкция и параметры не соответствуют условиям нагружения. В настоящее время до 20 % поддерживаемых выработок ремонтируются с затратами на ремонт от 70 до 130 % от первоначальной стоимости крепления. Существенно улучшить состояние выработок можно путём применения способов охраны (нагнетание скрепляющих растворов, анкерование и др.), позволяющих влиять на напряжённо-деформированное состояние массива и использовать его несущую способность. Вме-

сте с тем опыт применения таких мероприятий (в частности рамно-анкерной крепи, взрыво-целевой разгрузки (ВЦР) и др.) показывает, что технический эффект существенно зависит от своевременности их реализации [1]. Так, в работе [2] доказано, что лучший технический эффект достигается в случае установки усиливающей крепи сразу после выемки породы в забое. Усиление же крепи с отставанием от забоя или выполнение ВЦР существенно снижает техническую эффективность от применения указанных мероприятий. В этой связи установление особенностей и закономерностей формирования вокруг выработок зоны разрушенных пород во времени является весьма актуальной задачей.

В научно-технической литературе представлено большое количество работ, посвящённых изучению механизма формирования вокруг горных выработок зоны неупругих деформаций и прогнозированию проявлений горного давления. Это работы В. Т. Глушко, Л. М. Ерофеева, Ю. З. Заславского, А. Н. Зорина, К. В. Кошелева, Н. Н. Касьяна, И. Л. Черняка, А. Н. Шашенко и др. В этих работах подробно изложены результаты шахтных инструментальных наблюдений за механизмом формирования вокруг выработок зоны неупругих деформаций, однако при этом в

ней не выделяется зона разрушенных пород, отделившихся от массива. Вместе с тем размеры этой зоны и время её формирования и определяют предельные сроки выполнения дополнительных мероприятий по повышению устойчивости выработок.

Постановка задачи. Задачей данных исследований являлось установление закономерностей формирования зон разрушенных пород во времени вокруг выработок с рамной крепью для обоснования предельных сроков применения способов охраны горных выработок, в том числе сохранения природной прочности вмещающих пород.

Изложение материала и его результаты. В работе [2] с использованием положений кинетики хрупкого разрушения [3] и теории предельного равновесия [4] решена теоретическая задача по определению допустимого разрыва во времени между выемкой породы и установкой анкеров.

Вычисления производились по специально разработанной программе. Были приняты следующие граничные условия: параметр устойчивости $\gamma H / \sigma_{сж} = 0,2-0,7$ с шагом его изменения, равным 0,1; радиус выработки при проведении R — от 1,5 до 2,5 м с шагом его изменения 0,5 м; несущая способность крепи P — от 0,05 до 0,1 МПа; угол внутреннего трения ρ — от 25° до 35° ; параметр $l_a/2$ — от 0,75 до 1,45 м с шагом его изменения 0,1 м; коэффициент концентрации напряжений $k=1$.

С целью получения эмпирической зависимости, позволяющей прогнозировать время образования ЗРП заданного размера для различных горно-геологических условий, размеров выработки и параметров крепи, полученные результаты обрабатывались с помощью пакета прикладных программ «Statistika». Результаты обработки представлены на рисунке 1.

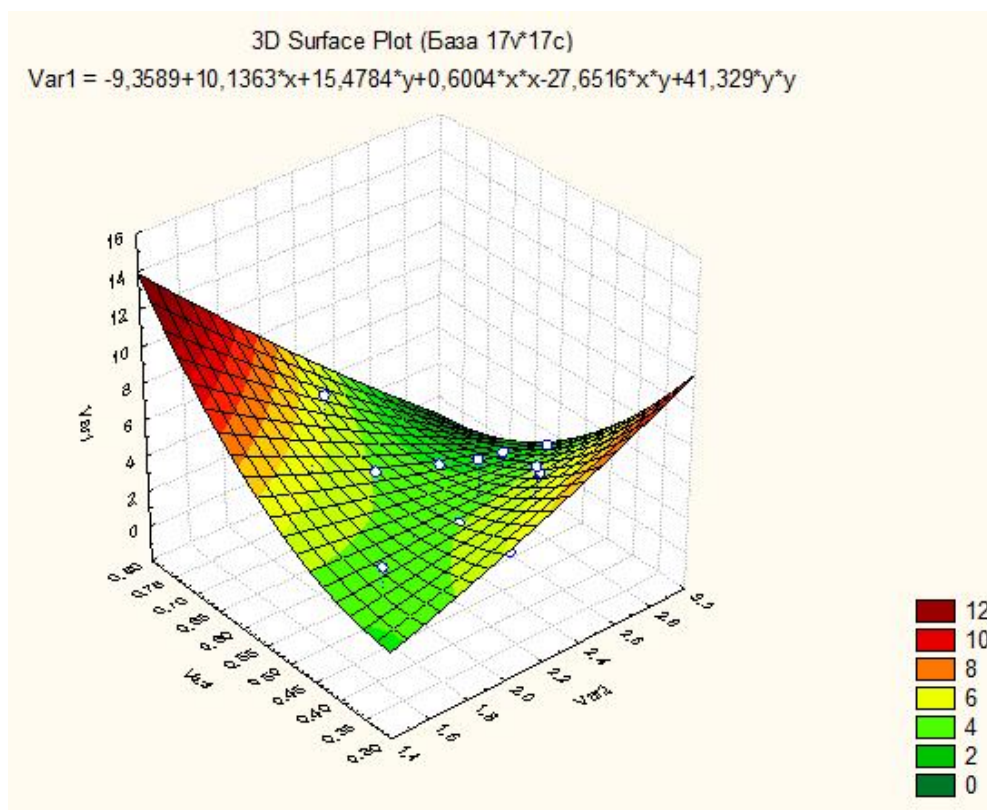


Рисунок 1 Результаты обработки данных, полученных с помощью пакета прикладных программ «Statistika»

В результате проведённых исследований были получены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать время, за которое вокруг выработки разовьётся ЗРП заданных размеров (половина глубины анкеро-

вания [2]) для различных горно-геологических и горнотехнических условий заложения выработки. Для наиболее распространённой глубины анкерования 2,2 м (длина анкера $l_a=2,4$ м) эта формула имеет вид

$$t = -224,6 + 243,4 \cdot R_B + 371,5 \cdot \left(\frac{\gamma H - P}{\sigma_{сж}} \right) + 14,4 \cdot R_B^2 - \\ - 663,6 \cdot R_B \cdot \left(\frac{\gamma H - P}{\sigma_{сж}} \right) + 991,9 \cdot \left(\frac{\gamma H - P}{\sigma_{сж}} \right)^2, \text{ ч;} \quad (1) \\ R^2 = 0,92,$$

где R_B — приведённый радиус выработки, м; P — отпор рамной крепи, МПа; H — глубина работ, м; $\sigma_{сж}$ — предел прочности пород на сжатие, МПа.

Для определения размеров ЗРП воспользуемся исследованиями, проведёнными в МГТУ под руководством И. Л. Черняка [5], согласно которым предельные относительные деформации для глинистого сланца составляют 3×10^{-2} , а для песчаного сланца — 2×10^{-2} . Предельное значение относительных деформаций ($\varepsilon_{пр}$) определялось по формуле

$$\varepsilon_{пр} = \frac{U_1 - U_2}{b}, \quad (2)$$

где U_1 и U_2 — смещения соответствующих реперов, мм; b — расстояние между соседними реперами, мм.

Для оценки сходимости зависимости (1) с фактическими результатами шахтных инструментальных наблюдений, выполненных проф. И. Л. Черняком, проф. Н. Н. Касьяном и авторами статьи в 13 выработках шахт Донбасса [5, 6], воспользуемся данными, представленными в таблице 1.

Для анализа результатов наблюдений были построены графики изменения размеров зоны разрушенных пород во времени (рис. 2).

Таблица 1

Результаты оценки сходимости расчётных значений с фактическими результатами шахтных наблюдений

№ п/п	Название выработки	Критерий устойчивости пород, $\gamma H / \sigma_{сж}$, ед.	Приведённый радиус выработки R , м	Время образования ЗРП на половину глубины анкерования, сут		Отклонение, %
				расчётное	фактическое	
1	2	3	4	5	6	7
1	2-й зап. конв. штр. пл. h_8 шахты «Шахтёрская Глубокая»	0,525	2,6	2,8	3,5	-19
2	6-й вост. вент. штр. пл. l_4 шахты им. Челюскинцев	0,391	1,6	3,5	4,2	-17
3	Вост. кор. полевой вент. штр. шахты «Бутовская Глубокая»	0,662	2	5,1	6,5	-22
4	Вост. парн. полевой вент. штр. шахты «Щегловка Глубокая»	0,609	1,8	5,3	4,1	+22

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
5	Вост. полевой вент. штр. шахты «Мушкетовская-Заперевальная»	0,33	2,1	5,0	4,1	+18
6	Трансп. ходок зап. панельного укл. № 2 пл. m_2 шахты «Чекист»	0,443	1,9	3,8	3,1	+18
7	Вост. полевой штр. шахты «Бутовская-Глубокая»	0,354	2,3	5,3	6,6	-20
8	9-й зап. конв. штр. пл. m_3 шахты им. А. Ф. Засядько	0,742	2,5	2,7	2,1	+22
9	6-й юж. бортовой ходок бл. № 2 пл. l_7 шахты им. Стаханова	0,43	2,1	3,9	3,7	+6
10	4-й сев. бортовой. ходок пл. l_3 шахты им. Стаханова	0,475	2,1	3,7	3,1	+16
11	5-й отк. штр. пл. m_2 шахты № 10 «Чекист»	0,557	2	4,0	4,7	-16
12	5-й сев. конв. штр. пл. m_4^0 шахты «Добропольская»	0,417	2,5	4,6	4,8	-5
13	5-й сев. конв. штр. пл. m_4^0 шахты «Добропольская»	0,417	2,5	4,6	3,9	+17

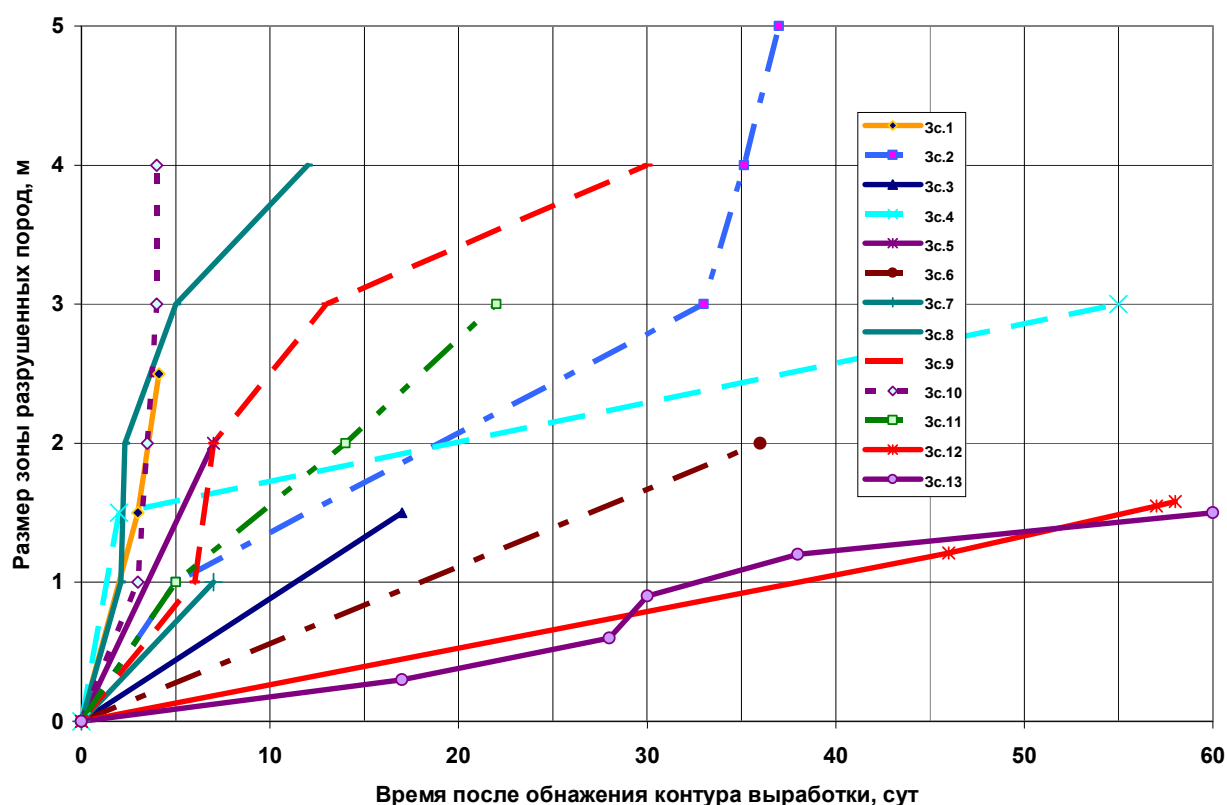


Рисунок 2 Графики изменения размера зоны разрушенных пород во времени на замерных станциях

Как видно из представленных в таблице 1 данных, полученная эмпирическая зависимость с хорошей сходимостью (отклонение от фактических значений, полученных в результате шахтных инструментальных наблюдений, не превышает 25 %)

позволяет достоверно определить время, за которое вокруг выработки разовьётся ЗРП заданных размеров.

С учётом выполненных расчётов была определена (табл. 2) область рационального применения усиления рамной крепи анкерами.

Таблица 2

Рекомендуемые параметры (смещения, разрыв во времени) применения дополнительных мероприятий по усилению рамной крепи

Характеристика условий заложения выработки, $\frac{\gamma H}{\sigma_{сж}}$, ед.	Приведённый радиус выработки, м	Рекомендуемая глубина анкерования, м	Смещения со стороны кровли до момента установки анкеров, мм	Максимальный разрыв во времени между выемкой породы и установкой анкеров, ч (сут)
0,2	2,22	2,4	59	206(8,6)
0,3			49	145(6,0)
0,4			42	105(4,4)
0,5			37	84(3,5)
0,6			34	73(3,0)

*Расчёты произведены с учётом следующих условий, одинаковых для всех случаев: шаг установки крепи в выработке — 0,8 м, номер спецпрофиля — СВП-27, сечение выработки в свету — 13,8 м²

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. В результате проведённых исследований получена эмпирическая зависимость, позволяющая достоверно определить время образования вокруг выработки ЗРП заданных размеров.

2. В зависимости от горно-геологических условий зона разрушенных пород вокруг выработок начинает образовываться уже через 2–32 суток после проведения выработки, причём большая интенсивность её образования характерна для глубины заложения более 900 м.

3. На глубину 2 м зона разрушенных пород образуется через 3–36 суток, что фактически ограничивает предельные сроки применения дополнительных мероприятий по повышению устойчивости выработок, направленных на сохранение природной прочности вмещающих пород.

4. С увеличением значения критерия устойчивости с 0,33 до 0,74 средняя скорость образования зоны разрушенных пород возрастает в 3–4 раза, достигая 0,5–0,8 м/сут.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогноза размеров зоны разрушенных пород во времени.

Библиографический список

1. Кошелев, К. В. Охрана и ремонт горных выработок [Текст] / К. В. Кошелев, Ю. А. Петренко, А. О. Новиков. — М. : Недра, 1990. — 218 с.
2. Шестопалов, И. Н. Обоснование параметров рамно-анкерной крепи для поддержания подготовительных выработок глубоких шахт [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.02 / Шестопалов Иван Николаевич. — Донецк, 2014. — 202 с.
3. Качанов, А. М. Основы механики разрушения [Текст] / А. М. Качанов. — М. : Наука, 1974. — 308 с.

4. Баклашов, И. В. Механика горных пород [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. — М. : Недра, 1975. — 271 с.
5. Черняк, И. Л. Геологические свойства горных пород [Текст] / И. Л. Черняк, А. С. Бурчаков, В. Н. Шехуржин. — М. : МИРГЭМ, 1966. — 98 с.
6. Касьян, Н. Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспечения их устойчивости на больших глубинах [Текст] : дис. ... докт. тех. наук : 05.15.02 / Касьян Николай Николаевич. — Донецк, 2002. — 358 с.

© Новиков А. О.

© Выговский Д. Д.

© Шестопалов И. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. УП ДонНТУ Ключко И. И.,
к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.*

Статья поступила в редакцию 16.11.18.

**д.т.н. Новіков О. О., к.т.н. Виговський Д. Д., к.т.н. Шестопалов І. М. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)
ПРО ГРАНИЧНІ СТРОКИ ЗАСТОСУВАННЯ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ГРІНИЧИХ
ВИРОБОК**

У статті наведено аналіз робіт, присвячених вивченню механізму формування навколо гірничих виробок зони непружних деформацій і прогнозуванню проявів гірського тиску. Описано результати комплексних спостережень, спрямованих на встановлення особливостей деформування породного масиву, що вміщує виробки з рамним кріпленням. Було визначено область раціонального застосування посилення рамного кріплення анкерами.

Ключові слова: кріплення, вимірна станція, репер, зона зруйнованих порід, зміщення реперів у часі.

Doctor of Tech. Sc. Novikov A. O., PhD Vygovskiy D. D., PhD Shestopalov I. N. (DonNTU, Donetsk, DPR)

DEADLINES FOR APPLICATION THE METHODS OF UNDERGROUND WORKING PROTECTION

The article gives analysis of works on studying the mechanism of formation around the underground working zone of inelastic deformations and the prediction of mine pressure manifestation. There have been described the results of complex observations aimed at determining the deformation features of rock massif accommodating the working with frame support. The area of rational application had been determined for the frame support reinforcement by anchors.

Key words: support, gauge station, bench mark, zone of destroyed rocks, bench mark time shift.

УДК 622.831

*к.т.н. Кизияров О. Л.,
Болотов А. П.,
к.т.н., д.э.н. Бизянов Е. Е.,
д.э.н. Коваленко Н. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ПРОГНОЗ ШАГА ПЕРВИЧНОЙ ОСАДКИ ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ ПРИ РАЗВОРОТЕ ЛИНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

На основании моделирования с применением МКЭ предложены эмпирические зависимости для прогноза шага первичной осадки основной кровли при поэтапном развороте линии очистного забоя. Определена область рационального применения данной технологии.

Ключевые слова: осадка кровли, очистной забой, метод конечных элементов, опорный контур.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Использование механизированных комплексов на угольных шахтах в лавах с труднообрушаемой кровлей не всегда позволяет повысить безопасность ведения очистных работ. Отход линии очистного забоя от монтажной камеры на начальном этапе работы сопровождается резким возрастанием нагрузок на секции крепи, повышением интенсивности смещений пород в лаве. При первичном обрушении массива труднообрушаемой кровли возможен выход из строя очистного оборудования в пределах призабойного пространства, связанный с частичной или полной посадкой на «жёсткую базу» секций крепи и деформацией её элементов. Кроме того, наблюдаются вывалы непосредственной кровли в призабойное пространство, завалы лав, воздушные удары, разрушения и деформации крепи участковых выработок [1, 2]. Обрушение кровли при отходе лавы способствовало выделению большого объёма метана и угольной пыли, что приводило к взрывам и крупным авариям, а также провоцировало горные удары [3].

С целью снижения негативных проявлений горного давления в очистном забое до первичной осадки массива труднообрушаемой кровли целесообразно осуществлять предварительный разворот лавы при её от-

ходе от монтажной камеры. В ряде случаев первичная посадка кровли происходит поэтапно участками по площади её обнажения, что позволяет локализовать интенсивность оседания массива и обеспечить работу лавы без аварийных остановок [4].

Механизм и параметрические характеристики геомеханических процессов в труднообрушающемся массиве кровли при попеременно-диагональном её обнажении исследован в работе [5], однако расчёт шага первичной осадки кровли получен в основном на основании аналитических исследований. В работе [6] исследован характер разрушения труднообрушаемой кровли при её поэтапном обнажении для единичных условий (усреднённых), что не позволяет установить основные закономерности при иных, отличающихся условиях. Очевидно, что при определённых соотношениях пространственно-геометрических параметров линии очистного забоя (длина, угол разворота относительно монтажной камеры), а также горно-геологических факторов осадка основной кровли по длине лавы будет происходить поэтапно (многостадийная осадка); в других случаях этот процесс будет носить единовременный характер (одностадийная), т. е. возникает необходимость в установлении области рационального применения данной технологии. Таким образом, вопрос определения парамет-

ров шага осадки массива труднообрушаемой кровли до первичного её обрушения при развороте очистного забоя изучен недостаточно и носит актуальный характер.

Постановка задачи. Целью данной работы является установление характера и величины первичного шага осадки основной труднообрушаемой кровли в зависимости от геометрических параметров очистного забоя и горно-геологических условий отработки пласта при поэтапном развороте лавы. Задачами данной работы являются: выявление факторов, наиболее влияющих на величину первичного шага осадки кровли, и установление их количественных зависимостей; определение рациональной области применения технологии поэтапного разворота очистного забоя.

Изложение материала и его результаты. Для проведения исследований в работе использован метод конечных элементов. Для этого разработана численная объёмная параметрическая модель с возможностью варьирования исследуемыми факторами в широком диапазоне. Описание модели приведено в [7, 8]. Задание граничных условий аналогично работе [6].

К основным горно-геологическим факторам, влияющим на шаг осадки основной кровли, относятся: мощность h_0 и предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ труднообрушаемого слоя; глубина разработки H и др. К влияющим горнотехническим факторам следует отнести длину лавы $l_{л}$, форму обнажения кровли в выработанном пространстве, скорость подвигания очистного забоя $v_{оч}$ и др. На рисунке 1 представлена схема изменения положения линии очистного забоя после разворота лавы, где: $l_{в}$, $l_{в1}$, $l_{в2}$ — ширина выработанного пространства в центре лавы, со стороны транспортной и вентиляционной выработок соответственно; γ_1 , γ_2 — угол разворота монтажной камеры и лавы относительно нормали к направлению отработки выемочного столба соответственно; $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ — полный угол разворота очистного забоя; $ABCD$ — опорный контур.

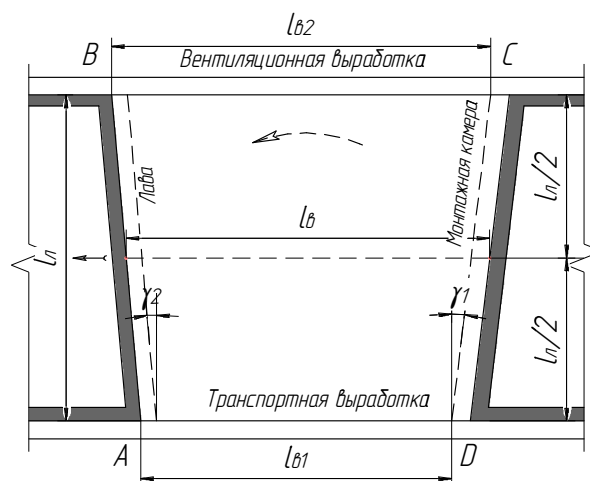


Рисунок 1 Схема изменения положения линии очистного забоя после разворота лавы

Принимая во внимание большое количество исследуемых факторов, влияющих на шаг первичной осадки основной кровли, расчёт производили в два этапа: на первом этапе исследовали влияние h_0 , $\sigma_{сж}$ и H , а на втором — γ_1 , γ_2 и $l_{л}$.

Первоначально спланирован полнофакторный эксперимент типа 2^k с возможностью учёта взаимодействия факторов между собой. При этом: $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$; $l_{л} \gg l_{л \max}$.

На основании проведённых ранее исследований [7, 8] установлено, что предел прочности и мощность труднообрушаемой кровли наилучшим образом коррелируют с шагом первичной осадки в степенной зависимости (показатель степени 0,5), в то время как глубина разработки H — в обратной, в связи с чем значения данных факторов будут использованы с учётом этих зависимостей. В таблице 1 представлены диапазоны варьирования факторов и их подставляемые значения, а в таблице 2 приведена матрица эксперимента и результаты расчётов.

После обработки результатов расчётов получено регрессионное уравнение в кодированном виде. Из уравнения исключены члены, оказывающие слабое влияние на результативный фактор.

Таблица 1

Диапазоны варьирования исследуемых факторов на первом этапе исследований

Значение	Фактор					
	фактический			используемый		
	$\sigma_{сж}$, МПа	h_0 , м	H , м	$\sigma_{сж}^{0,5}$	$h_0^{0,5}$	H^{-1}
<i>min</i> (–1)	60	5	600	7,75	2,24	0,000714
<i>max</i> (+1)	180	50	1400	13,42	7,07	0,00167

Таблица 2

Матрица планирования и результаты расчётов первого этапа исследований

№ п/п	Значение факторов			$Ш_{0\infty}$, м
	$\sigma_{сж}$	h_0	H	
1	+1	+1	+1	95
2	–1	+1	+1	70
3	+1	–1	+1	55
4	–1	–1	+1	50
5	+1	+1	–1	60
6	–1	+1	–1	52
7	+1	–1	–1	46
8	–1	–1	–1	43

Исследования показали, что наиболее значимым оказалось взаимодействие всех трёх исследуемых факторов. После преобразования кодированных факторов в натурные получена следующая регрессионная модель:

$$Ш_{0\infty} = f(\sigma_{сж}, h_0, H) = 39 + 336 \cdot \frac{\sqrt{\sigma_{сж} \cdot h_0}}{H}, \text{ м}, \quad (1)$$

где $Ш_{0\infty}$ — шаг первичной осадки основной кровли при $l_{л} \gg l_{л \max}$.

На втором этапе исследований рассмотрено взаимное влияние угла разворота очистного забоя при отходе от монтажной камеры, а также длины лавы на характер разрушения пород основной кровли. Проведённые аналитические исследования показали, что углы разворота монтажной камеры γ_1 и линии очистного забоя γ_2 равнозначны с позиции устойчивости слоя кровли. Следует отметить, что увеличение

значения угла γ_1 приводит к росту потерь угля в охранных целиках между монтажной камерой и подготавливающей выработкой, поскольку минимальная ширина целика регламентируется действующим нормативным документом [9]. Увеличение угла разворота лавы γ_2 приводит в первую очередь к организационным помехам, поскольку возникает необходимость в наращивании конвейера и крепи очистного забоя. Как показал опыт, на практике значение этого угла принимается не более 20...30° [4]. В дальнейшем будет исследован полный угол γ разворота очистного забоя. Диапазоны варьирования факторов на втором этапе исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3

Диапазоны варьирования исследуемых факторов на втором этапе исследований

Показатель	Исследуемый фактор		
	γ , град.	$l_{л}$, м	$Ш_{0\infty}$, м
Минимум	0	150	40
Максимум	40	300	100
Шаг варьирования	10	50	10

После выполнения расчётов анализировался характер обрушения, а также величина первичного шага осадки кровли.

На рисунке 2 представлена схема разрушения слоя основной кровли для одной из решённых задач. Как видно из рисунка, характер разрушения преимущественно блочный. Приблизительно в центре выработанного пространства величины растягивающих напряжений превышают соответствующий предел прочности пород кровли, и в данном месте происходит разрушение. Затем фронт разрушения перемещается в направлении подготовительных выработок. Далее происходит разлом зависших консольных частей кровли до опорного контура и их падение в выработанном пространстве на почву пласта. Обрушение слоя происходит в виде «конверта», что часто наблюдается, согласно натурным исследованиям [10].

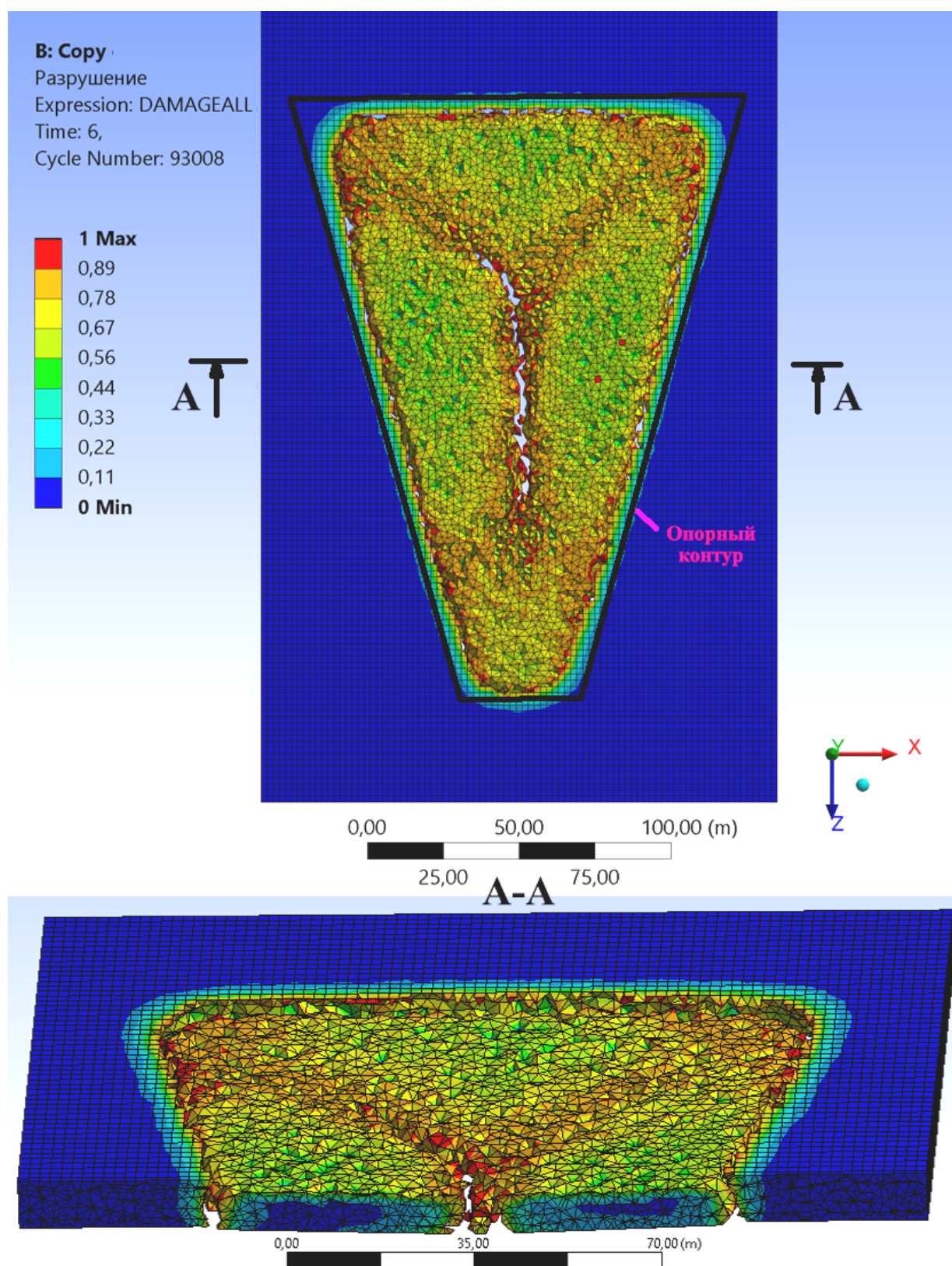


Рисунок 2 Схема разрушения слоя труднообрушаемой кровли очистного забоя (одностадийный процесс осадки)

В определённых случаях зона обрушения кровли не доходит до транспортной выработки, т. е. наблюдается многостадийная осадка.

По результатам исследований построен график (рис. 3) — эмпирическая пространственная поверхность, определяющая характер осадки кровли.

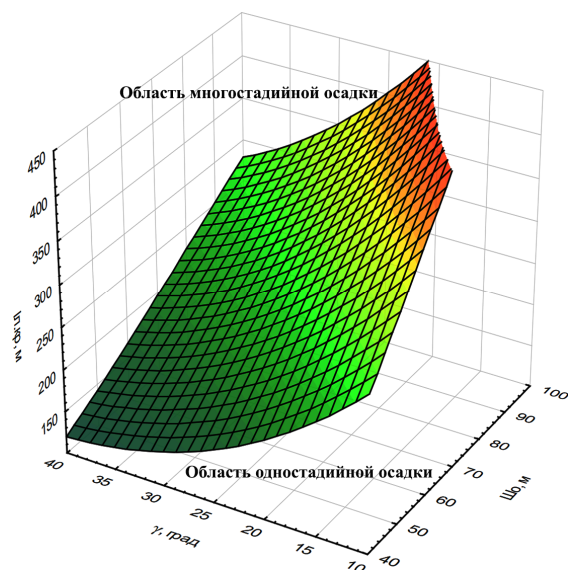


Рисунок 3 График для определения характера осадки кровли

Пересечение по осям значений трёх факторов даёт некоторую точку. Если точка располагается выше полупространства, ограниченного поверхностью, то режим осадки многостадийный и целесообразно применение технологии поэтапного разворота очистного забоя, в противном случае разворот лавы неэффективен.

Получено условие, при котором наблюдается многостадийная осадка основной кровли:

$$l_{\text{л}} > l_{\text{л.кр}} = 99,1 \cdot \frac{Ш_{0\infty}}{\gamma}, \text{ м.} \quad (2)$$

Проанализируем зависимость (2). При отсутствии разворота очистного забоя ($\gamma \approx 0^\circ$) значение $\lim_{\gamma \rightarrow 0} l_{\text{л.кр}} = \infty$, т. е. при любом сочетании длины лавы и горно-

геологических условий многостадийность осадки основной кровли не обеспечивается. Увеличение угла разворота очистного забоя приводит к снижению критического значения $l_{\text{л.кр}}$, что существенно повышает вероятность многостадийной осадки.

На основании проведённых исследований получена эмпирическая зависимость для прогноза шага первичной осадки основной кровли:

$$Ш_0 = \begin{cases} 1,82 \cdot Ш_{0\infty} - 1,9 \cdot \gamma & \text{при } l_{\text{л}} > l_{\text{л.кр}}; \\ \frac{Ш_{0\infty} \cdot l_{\text{л}}}{l_{\text{л}} \cdot \cos^{-1} \gamma - Ш_{0\infty}} & \text{при } l_{\text{л}} \leq l_{\text{л.кр}}. \end{cases} \quad (3)$$

Значение $Ш_{0\infty}$ вычисляется по формуле (1). Вторая составляющая условия (3) определена исходя из величины эквивалентного пролёта [10].

Следует отметить, что осадка кровли произойдёт в тот момент, когда ширина выработанного пространства в центре лавы достигнет критического значения (3), т. е. $l_g = Ш_0$.

Выводы и направление дальнейших исследований. На основании численного моделирования установлены наиболее влияющие на величину шага первичной осадки кровли горно-геологические и горнотехнические факторы. При определённых сочетаниях длины очистного забоя, угла его разворота, а также горно-геологических условий осадка кровли осуществляется в несколько этапов, т. е. наблюдается многостадийный режим. Предложены эмпирические зависимости для прогноза шага первичной осадки труднообрушаемой основной кровли, а также условия для оценки эффективности применения данной технологии.

Направлениями дальнейших исследований являются анализ и учёт влияния скорости подвигания очистного забоя на величину шага первичной осадки основной кровли при развороте линии очистного забоя.

Библиографический список

1. Журило, А. А. Горное давление в очистных забоях с труднообрушающимися кровлями [Текст] / А. А. Журило. — М. : Недра, 1980. — 124 с.
2. Овчинников, В. П. Геомеханічне обґрунтування технології управління важкообвальною покрівлею на викидонебезпечних пластах [Текст] // В. П. Овчинников, Ю. М. Халімендик, В. Д. Петренко, В. П. Романенко. — Луганськ : Книжковий світ, 2005. — 208 с.
3. Клишин, В. И. Комплексный метод снижения удароопасности на угольных шахтах [Текст] / В. И. Клишин, Г. Ю. Опрук, А. А. Черепов // Уголь. — 2018. — № 9. — С. 56–62.
4. Борзых, А. Ф. Опыт поэтапной первичной посадки кровли в комплексно-механизированных лавах [Текст] / А. Ф. Борзых, А. П. Болотов, В. Н. Григоряк // Уголь Украины. — 2009. — № 5. — С. 3–4.
5. Князьков, О. В. Изменение положения линии очистного забоя в пространстве как метод первичной посадки труднообрушаемой кровли [Текст] / О. В. Князьков, Г. А. Аверин, А. П. Болотов // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2007. — Вып. 25. — С. 101–105.
6. Болотов, А. П. Моделирование первичной посадки труднообрушаемой кровли в лаве при поэтапном развороте линии очистного забоя [Текст] / А. П. Болотов // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2012. — Вып. 36. — С. 126–138.
7. Кизияров, О. Л. К вопросу определения первичного шага осадки основной кровли в лаве [Текст] / О. Л. Кизияров, С. И. Касьян, А. П. Болотов // Экология и безопасность жизнедеятельности – 2017 : материалы Международной конференции, посвящённой 20-летию ВУО МАНЭБ. — Алчевск : ДонГТУ; ВУО МАНЭБ, 2017. — С. 151–157.
8. Куберский, С. В. Численный анализ влияния длины и скорости подвигания очистного забоя на величину шага первичной осадки кровли [Текст] / С. В. Куберский, О. Л. Кизияров, А. П. Болотов, Е. Е. Бизянов, Н. В. Коваленко // Новые технологии и проблемы технических наук : сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. — Красноярск, НН : ИЦРОН, 2018. — № 5. — С. 21–25.
9. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст]. — К. : Мінвуглепром України, 2007. — 116 с.
10. Борисов, А. А. Механика горных пород и массивов [Текст] / А. А. Борисов. — М. : Недра, 1980. — 360 с.

© Кизияров О. Л.
 © Болотов А. П.
 © Бизянов Е. Е.
 © Коваленко Н. В.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,
 к.т.н., доц. СУНИГОТ ЛНУ им. В. Даля Штанько Л. А.**

Статья поступила в редакцию 16.11.18.

к.т.н. Кізіяров О. Л., Болотов О. П., к.т.н., д.е.н. Бізянов Є. Є., д.е.н. Коваленко Н. В.
 (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ПРОГНОЗ КРОКУ ПЕРВИННОГО ОСІДАННЯ ВАЖКООБРУШУВАНОЇ ПОКРІВЛІ
 ПРИ РОЗВОРОТІ ЛІНІЇ ОЧИСНОГО ВИБОЮ**

На підставі моделювання із застосуванням МСЕ запропоновано емпіричні залежності для прогнозу кроку первинного осідання основної покрівлі при поетапному розвороті лінії очисного вибою. Визначено область раціонального застосування даної технології.

Ключові слова: осідання покрівлі, очисний вибій, метод скінчених елементів, опорний контур.

PhD Kiziyarov O. L., Bolotov A. P., PhD, Doctor of Economics Bizianov E. E., Doctor of Economics Kovalenko N. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

PREDICTION OF THE FIRST SETTLING INCREMENT OF THE POORLY CAVING ROOF WHEN THE BREAKAGE FACE LINE TURNS OVER

Based on the modeling with the use of the FEM, the empirical dependencies have been given for the prediction of the first settling increment of the main roof at the phased turning of the breakage face line. The field of rational application of this technology is defined.

Key words: *roof settling, breakage face, finite elements method, index contour.*

УДК 622.411.33

к.т.н. Павлов В. И.,
Кулакова С. И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НОРМАТИВНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОМ УРОВНЕ УГЛЕДОБЫЧИ

Математический анализ результатов исследований МакНИИ метанообильности выемочных участков, оборудованных высокопроизводительными механизированными комплексами, выявил отклонение расчётных значений коэффициента неравномерности метановыделений по нормативной методике от фактических значений. Установлено, что для обеспечения газовой безопасности без снижения интенсивности отработки угольных пластов возможна корректировка нормативной методики на основе уточнения по данным шахтного мониторинга в используемых зависимостях влияния высоких нагрузок.

Ключевые слова: высокие нагрузки, очистной забой, метановыделение, мониторинг, максимальные значения, коэффициент неравномерности, расчёт, газовая безопасность, механизированный комплекс.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Экономически эффективная эксплуатация современного высокопроизводительного оборудования обеспечивается достаточно высокими нагрузками на механизированные комплексы. Однако на высокометаносных угольных пластах добыча ограничивается пределом по газовому фактору. Вместе с тем на многих шахтах отмечена возможность превышения предельной нагрузки без снижения газовой безопасности, что убедительно свидетельствует о неточности нормативной методики прогноза метановыделения. Общеизвестно, что эта ситуация обусловлена недостаточным исследованием влияния высоких нагрузок, которые достигаются современными механизированными комплексами. В связи с этим актуальной научной задачей является изучение влияния высоких уровней нагрузки на процесс метановыделения.

В работе [1] была проведена специальная проверка влияния нагрузки на дебит метана в очистные выработки, оборудованные современными механизированными комплексами. Исследованием было охвачено 33 лавы на 6-ти шахтах Донбасса. Диапазон нагрузок на очистные забои со-

ставлял от 300 до 3980 т/сут, скорость подвигания — от 0,5 до 6,9 м/сут. Было установлено, что относительное отклонение фактического метановыделения от расчётного зависит от нагрузки на очистной забой:

$$\frac{I_{\phi}}{I_p} = 61,4 A^{-0,637}, \quad (1)$$

где I_{ϕ} — фактическое метановыделение, м³/мин; I_p — расчётное метановыделение, м³/мин; A — нагрузка на очистной забой, т/сут.

Как следует из этого уравнения, фактическое метановыделение с увеличением нагрузки существенно снижается и при $A = 4000$ т/сут составляют около 30 % от расчётного значения. При этом не исследован вопрос, допустимо ли при высоких нагрузках снижение количества воздуха для проветривания очистного забоя, так как необходимое количество воздуха определяется из условия разбавления не среднего метановыделения, а максимального. Последнее определяется с учётом среднего метановыделения \bar{I} и коэффициента неравномерности k_n по формуле

$$I_{\max} = \bar{I} \cdot k_n. \quad (2)$$

В анализируемой работе нет данных об изменении коэффициента неравномерности метановыделения k_n . Согласно нормативной методике [2] он определяется по формуле

$$k_n = 1,94 \cdot \bar{I}^{-0,14}. \quad (3)$$

При уменьшении среднего метановыделения коэффициент неравномерности должен увеличиваться и, следовательно, может расти максимальное метановыделение и, соответственно, необходимое количество воздуха.

Постановка задачи. Задачей данной работы является оценка точности нормативной методики расчёта максимальных метановыделений и возможности её корректировки для обеспечения газовой безопасности при отработке высокометаносных угольных пластов современными механизированными комплексами.

Изложение материала и его результаты. Если допустить, что зависимость (3) не изменяется при увеличении нагрузки, то можно установить, как изменяются относительные максимальные значения метановыделения $I_{\phi, \max} / I_{p, \max}$ и отклоняются ли расчётные значения коэффициента неравномерности от фактических значений $k_{n, \phi} / k_{n, p}$.

Выражая максимальные метановыделения через уравнение (2), а коэффициент неравномерности через (3), получим

$$\frac{I_{\phi, \max}}{I_{p, \max}} = \frac{\bar{I}_{\phi} \cdot 1,94 \cdot \bar{I}_{\phi}^{-0,14}}{\bar{I}_p \cdot 1,94 \cdot \bar{I}_p^{-0,14}} = \left(\frac{\bar{I}_{\phi}}{\bar{I}_p} \right)^{0,86}. \quad (4)$$

Из (1) следует, что

$$\bar{I}_{\phi} = \bar{I}_p \cdot 61,4 A^{-0,637}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), после упрощения получим

$$\frac{I_{\phi, \max}}{I_{p, \max}} = 34,5 A^{-0,548}. \quad (6)$$

Так как максимальные значения зависят не только от средних значений метановыделения, но и от коэффициента k_n , далее необходимо уточнить, как зависит отношение фактического значения коэффициента неравномерности к расчётному от нагрузки на очистной забой. Для этого выражение (6) представим в виде

$$\frac{\bar{I}_{\phi} \cdot k_{n, \phi}}{\bar{I}_p \cdot k_{n, p}} = 34,5 A^{-0,548}, \quad (7)$$

откуда с учётом (1) получаем

$$\frac{k_{n, \phi}}{k_{n, p}} = \frac{\bar{I}_p \cdot 34,5 A^{-0,548}}{\bar{I}_{\phi}} = \frac{34,5 \cdot A^{-0,548}}{61,4 \cdot A^{-0,637}}. \quad (8)$$

После преобразования искомое отношение будет иметь вид

$$\frac{k_{n, \phi}}{k_{n, p}} = 0,562 A^{0,089}. \quad (9)$$

Из графического сравнения зависимостей (1) и (6), приведённых на рисунке 1, видно, что не только средние расчётные значения метановыделения больше фактических, но и их максимальные значения. Следовательно, без снижения уровня безопасности действительно возможно увеличение нагрузки на механизированный комплекс выше допустимого по газовому фактору, как отмечается в работе [1].

Из рисунка 1 также видно, что в расчётах по нормативной методике [2] коэффициент неравномерности будет незначительно занижен, т. е. фактическое его значение в зависимости от величины нагрузки будет больше на 5–20 %. Важно отметить, что под влиянием нагрузки коэффициент неравномерности имеет противоположную направленность по сравнению со средним метановыделением. Сам факт снижения метановыделения при высоких нагрузках установлен во многих детальных исследованиях. Логично предположить, что и коэффициент неравномерности также значительно изменяется под влиянием высоких нагрузок.

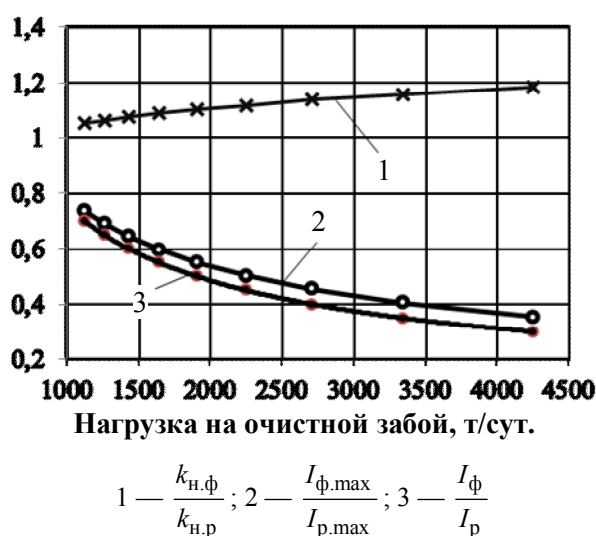


Рисунок 1 Влияние нагрузки на относительные отклонения расчётных значений метановыделения от фактических по данным работы [1]

Проверка этого предположения была выполнена по данным мониторинга метановыделения в 28-й орловской лаве пласта k_2 шахты «Молодогвардейская». Очистной забой был оборудован механизированным комплексом 2МКД90. Суточная нагрузка колебалась в пределах от 1760 до 3250 т. Дебит метана в исходящей струе составлял от 8,0 до 11,2 м³/мин. Были установлены статистически надёжные зависимости, аналогичные выражениям (1), (6) и (9):

$$\frac{I_{ф}}{I_{р}} = 2,42 - 0,0007A; \quad (10)$$

$$\frac{I_{ф.мах}}{I_{р.мах}} = 0,65 + 0,0002A; \quad (11)$$

$$\frac{k_{н.ф}}{k_{н.р}} = \frac{0,65 + 0,0002A}{2,42 - 0,0007A}. \quad (12)$$

Из выражения (10) следует, что, как и в работе [1], на отклонение расчётных средних значений метановыделения $I_{р}$ от фактических $I_{ф}$ оказывает нагрузка A , но выража-

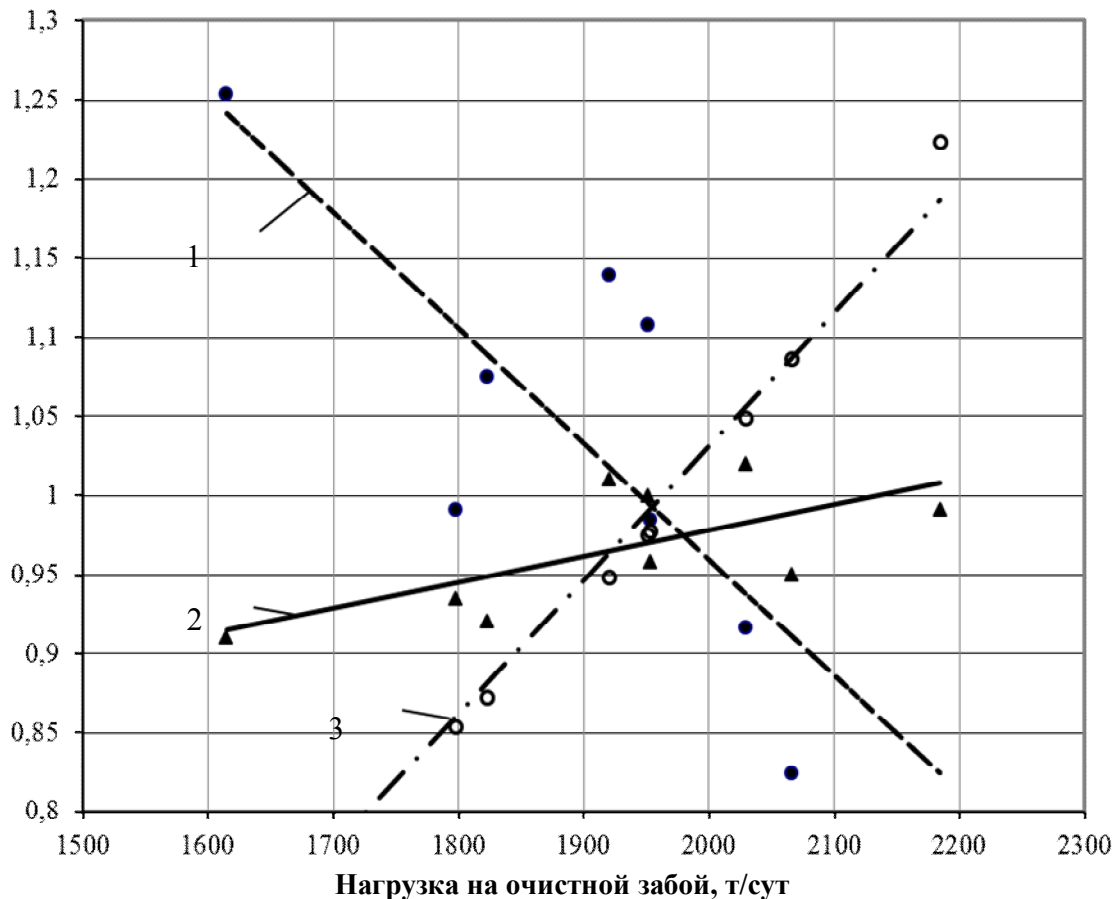
ется другим видом зависимости. При нагрузке 1500 т/сут фактические значения больше расчётных на 37 %. Наблюдается опасная ошибка второго рода, но затем, при дальнейшем повышении нагрузки, происходит обратное отклонение и возникает неопасная ошибка первого рода — отклонение на 7 %, т. е. фактически метана выделяется меньше, чем ожидается (линия 1, рис. 2).

Изменение отклонений максимальных расчётных значений от максимальных фактических (11) имеет противоположную тенденцию. Вначале отношение $I_{ф.мах}/I_{р.мах}$ меньше единицы, а затем оно становится больше единицы (линия 2, рис. 2). Отсюда следует, что, несмотря на снижение средних значений, максимальные значения увеличиваются из-за интенсивного роста неравномерности метановыделения при увеличении нагрузки (линия 3, рис. 2).

Приведённые в данной работе исследования по шахте «Молодогвардейская» подтверждают закономерности, отмеченные в работах [1, 3, 4]: при достижении высоких нагрузок (более 1500–1800 т/сут) дальнейшее их увеличение приводит к снижению метанообильности выработок выемочного участка. Это позволяет на многих шахтах достигать нагрузок на современные механизированные комплексы выше допустимых по газовому фактору. Действительно, как отмечено в работе с участием МакНИИ [1], необходимо в этой части корректировать методику [2]. Однако приведённые выше исследования свидетельствуют о необходимости корректировки и коэффициента неравномерности процесса метановыделения. Детальный анализ зависимости (1) свидетельствует о занижении значений коэффициента неравномерности при использовании нормативной методики [2]: отношение $k_{н.ф}/k_{н.р}$ больше единицы. Зависимость (11) отражает возрастающую с увеличением нагрузки неточность расчётного метода. Полученные результаты, подтверждают тот факт, что, несмотря на значительное сни-

жение метанообильности выработок, при достижении высоких нагрузок существует реальная опасность редких аномально высоких метановыделений. Поэтому для обеспечения безопасных условий отработки газоносных пластов эти метановыделения необходимо разбавлять достаточным количеством воздуха. При этом, как следу-

ет из зависимости (11), для эксплуатации выемочного оборудования без ограничений по нагрузке потребуется увеличение подаваемого количества воздуха в выемочные выработки по сравнению с расчётным значением по руководству [2] или увеличение эффективности дегазационных мероприятий.



$$1 - \frac{I_{\phi}}{I_p}; 2 - \frac{I_{\phi, \max}}{I_{p, \max}}; 3 - \frac{k_{н. \phi}}{k_{н. p}}$$

Рисунок 2 Влияние нагрузки на относительные отклонения расчётных значений метановыделения от фактических по данным мониторинга в 28-й орловской лаве пласта k_2

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненный анализ исследований МакНИИ по 33 лавам Донбасса свидетельствует о том, что нормативная методика расчёта коэффициента неравномерности метановыделения даёт заниженные значения. Одной из причин неточности расчёта является влияние высоких нагрузок.

Для уточнения расчётных формул необходимы дополнительные исследования.

Высокие нагрузки вызывают уменьшение метанообильности горных выработок. Влияние нагрузок в различных горно-геологических условиях отличается по интенсивности и описывается разными зависимостями.

Существует диапазон нагрузок на механизированный комплекс, при которых расчётное значение количества воздуха, необходимого для проветривания выемочного участка, является завышенным, что обусловлено снижением метановыделения. Вместе с тем дальнейший рост нагрузок приводит к значительному

увеличению неравномерности метановыделения и, соответственно, к возникновению опасных высоких значений метановыделения.

Для повышения точности расчётных значений максимальных метановыделений необходимо уточнение используемых зависимостей на основе текущего шахтного мониторинга.

Бibliографический список

1. Касимов, О. И. Метановыделение в очистные выработки угольных шахт [Текст] / О. И. Касимов, Б. В. Бокий, И. В. Назимко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. — 2007. — № 1. — С. 232–238.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт [Текст] : ДНАОТ 1.1.30-6.09.93. — К. : Основа, 1994. — 312 с. — (Государственный нормативный акт по охране труда).
3. Бокий, А. Б. Влияние уровня угледобычи на дебит парниковых газов в очистную выработку [Текст] / А. Б. Бокий // Геотехнічна механіка. — Днепропетровск, 2010. — Вып. 88. — С. 247–255.
4. Крыжановский, Ю. Ю. О максимальном газовыделении в горные выработки при отработке угольных пластов [Текст] / Ю. Ю. Крыжановский, Н. И. Антощенко, Р. Л. Гасюк // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. МакННН. — Макеевка : МакННН, 2013. — № 2 (32). — С. 24–38.

© Павлов В. И.

© Кулакова С. И.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А., д.т.н., вед. научн. сотруд. отдела охраны труда на шахтах МакННН Кудиновым Ю. В.

Статья поступила в редакцию 31.10.18.

к.т.н. Павлов В. И., Кулакова С. И. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ НОРМАТИВНОЇ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МЕТАНОВИДІЛЕННЯ ПРИ ВИСОКОМУ РІВНІ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

Математичний аналіз результатів досліджень МакНДІ метановості виїмкових ділянок, обладнаних високопродуктивними механізованими комплексами, встановив відхилення розрахункових значень коефіцієнта нерівномірності метановиділень за нормативною методикою від фактичних значень. Встановлено, що для забезпечення газової безпеки без зниження інтенсивності відпрацювання вугільних пластів є можливим коригування нормативної методики на підставі уточнення за даними шахтного моніторингу в залежностях, що використовуються, впливу високих навантажень.

Ключові слова: високі навантаження, очисний вибій, метановиділення, моніторинг, максимальні значення, коефіцієнт нерівномірності, розрахунок, газова безпека, механізований комплекс.

PhD Pavlov V. I., Kulakova S. I. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

ACCURACY ASSESSMENT OF NORMATIVE TECHNIQUE FOR CALCULATING THE METHANE RELEASE AT A HIGH LEVEL OF COAL MINING

The mathematical analysis of the research results of the MakSRI on methane-bearing capacity of the excavation sites equipped with highly productive mechanized complexes revealed the deviation of the calculated coefficient values of non-uniformity of methane emissions by the normative technique from the actual values. It is found that to ensure gas safety without reducing the intensity of coal beds mining, it is possible to adjust the normative technique based on the refinement of the mine monitoring data in the used dependences of the high loads influence.

Key words: high loads, brakeage face, methane release, monitoring, maximum values, variation factor, calculation, gas safety, mechanized complex.

УДК 622.83:622.023.23

асс. Корецкая Е. Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, balgala@ukr.net)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОДРАБОТКИ ЛАВОЙ № 35^{ВОСТ.} пл. h₈ ШАХТЫ им. М. В. ФРУНЗЕ

Приведены результаты исследования максимальных оседаний земной поверхности с учётом чередования крепких пород, выраженные в процентном отношении к глубине ведения очистных работ, путём моделирования и натурных наблюдений подрабатываемой железной дороги.

Ключевые слова: математическое моделирование, метод конечных элементов, максимальные оседания земной поверхности, процентное содержание, крепкие породные слои.

Актуальность. Прогноз сдвижения земной поверхности рассчитывается в соответствии с нормативным документом [1]. Данная методика учитывает влияние крепких пород (песчаник, известняк и т. д.), залегающих в подрабатываемой толще, только косвенно (q_0 — относительная величина максимального оседания). Основными исходными данными для этой методики являются: мощность вынимаемого пласта, отношение ширины выработанного пространства к глубине разработки, угол падения пласта, метаморфизм залегающих пород и др.

Решить эту проблему возможно, используя фактические инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности, вызванным ведением очистных работ при отработке тонких и средней мощности полных угольных пластов, и математическим моделированием, например методом конечных элементов, которые позволяют достичь высокой точности [2]. При определении величины сдвижения земной поверхности математическим методом создаются расчётные схемы, которые учитывают слоистость, чередование слабых, крепких слоёв и прослоек, существенно влияющие на параметры процесса сдвижения [3].

Цель исследования — учесть влияние крепких пород подработанной толщи при определении максимальных оседаний земной поверхности.

Учёт влияния крепких пород подработанной толщи определён путём сравнения максимальных значений, которые получе-

ны тремя методами: нивелированием железной дороги, моделированием методом конечных элементов и вычислением по методике «Правил охраны ...» [1].

Первый метод: проводилась нивелировка железной дороги, расположенной диагонально к линии лавы № 35^{ВОСТ.} пласта h₈ в горно-геологических условиях шахты им. М. В. Фрунзе ПО «Ровенькиантрацит» в 2000–2001 годах. Расстояние между реперами составляло 30 м. Замеры проводили раз в квартал.

Второй метод: вычисления проводились на плоских моделях с помощью программного вычислительного комплекса «Лира», реализующего метод конечных элементов. Были созданы три расчётные схемы: первая максимально учитывает фактические горно-геологические и горнотехнические условия подрабатываемой толщи, в которой содержание крепких пород составляет 29 % с учётом угольных пластов и прослоек; во второй породные слои заменены на крепкие породы (песчаники и известняки — 100 %), а в третьей — на аргиллиты (при полном отсутствии крепких пород — 0 %).

Процесс оседания земной поверхности моделировался с учётом пошагового подвигания очистного забоя, шаг выемки — 30 м, что в среднем соответствует подвиганию лавы за месяц. При этом поведение пород максимально приближено к упругопластическому деформированию. Модели учитывали увеличение объёма разрушенных и обрушенных пород путём подстановки на место

пошагово вынутых элементов новых, с прочностными свойствами, соответствующими обрушенным породам [4]. Расчётная модель имеет размеры 3465 м по простиранию и 928 м по глубине. Размеры конечных элементов назначались в зависимости от мощности угольных пластов, пропластков и вмещающих пород. Размер элемента в моделях по мощности составляет от 0,2 до 7,5 м. Размер элементов по простиранию — 5 м. Модели состоят из 190073 элементов. Тип конечных элементов — физически нелинейный, универсальный, прямоугольный конечный элемент (КЭ) плоской задачи (грунт). Критерий разрушения определялся теорией прочности Кулона – Мора для грунтов. Моделируемая подработанная толща пород была представлена чередующимися слоями различных типов пород, отличающимися между собой деформационными характеристиками, соответствующими стратиграфической колонке, полученной в результате бурения разведочных скважин. Физико-механические характеристики угля и вмещающих его пород приведены в таблице 1.

Таблица 1
Физико-механические характеристики угля
и вмещающих его пород

Порода	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент сцепления, МПа	Угол внутреннего трения
аргиллит	$2 \cdot 10^4$	0,2	5	30
алевролит	$2 \cdot 10^4$	0,2	8	35
песчаник	$2,5 \cdot 10^4$	0,2	8	35
известняк	$2,5 \cdot 10^4$	0,2	8	35
угольный пласт	$0,5 \cdot 10^4$	0,3	3,4	37

Для моделирования изменения свойств обрушенных во времени пород использован процессор «МОНТАЖ».

Третий метод: прогнозируемые максимальные оседания, полученные в результате вычислений по методике [1].

Пласт h_8 — сложного строения, вынимаемая мощность в среднем составляет 1,56 м, угол падения на выемочном участке изменяется от 0° до 1° . Глубина расположения лавы — 880 м. Выемка антрацита проводилась механизированным комплексом 1КМТ–1,5. Средняя скорость подвигания очистного забоя 30 м/мес.

Выкопировка из плана исследуемого участка представлена на рисунке 1. Модели составлялись вдоль отработки лавы № 35^{вост.}, полученные оседания отображены на рисунке 2. Железная дорога пересекает эту лаву диагонально к линии очистного забоя. Работоспособность расчётных схем подтверждается сравнением оседаний, полученных моделированием, с фактическими на пикетах 6, 7, 8, 9 (рис. 3), максимальное отклонение составляет от 1 до 11 %. Среднее значение показано на рисунке 4. Соответственно, данные, полученные в результате моделирования первой модели (29 % крепких пород), в дальнейшем можно использовать как фактические.

Результаты максимальных оседаний земной поверхности, полученные разными методами, представлены в таблице 2 и показаны на рисунке 5.

Путём интерполяции зависимостей максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства к глубине разработки по данным моделей, содержащих 0 %, 29 % и 100 % крепких пород в подрабатываемой толще, получены зависимости максимальных оседаний при других процентных содержаниях крепких пород, представленных на рисунке 6. На основании сравнения максимальных оседаний, полученных на моделях и рассчитанных по нормативному документу [1], определены поправочные коэффициенты, позволяющие учесть содержание крепких пород (табл. 3), которые можно ввести в «Правила подработки зданий, сооружений и водных объектов при отработке угля подземным способом» [1].

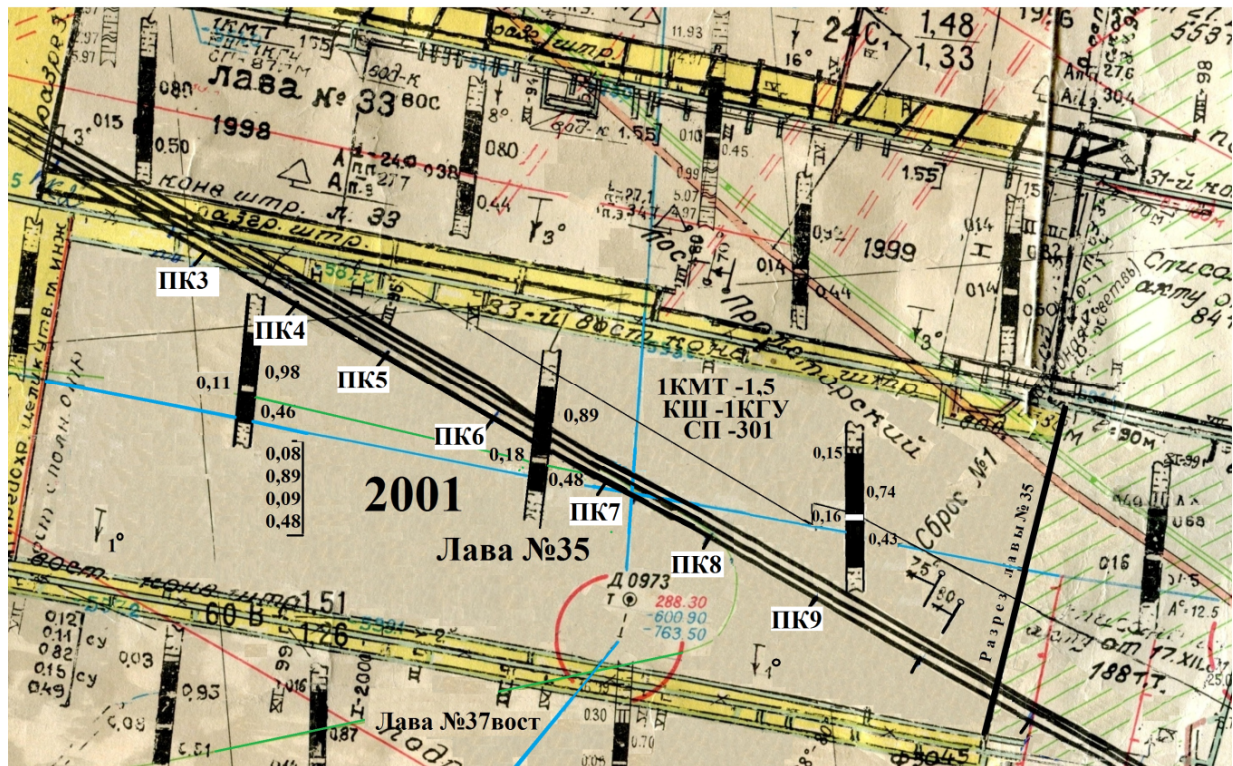


Рисунок 1 Выкопировка из плана горных работ пласта h_8 ш. им. М. В. Фрунзе

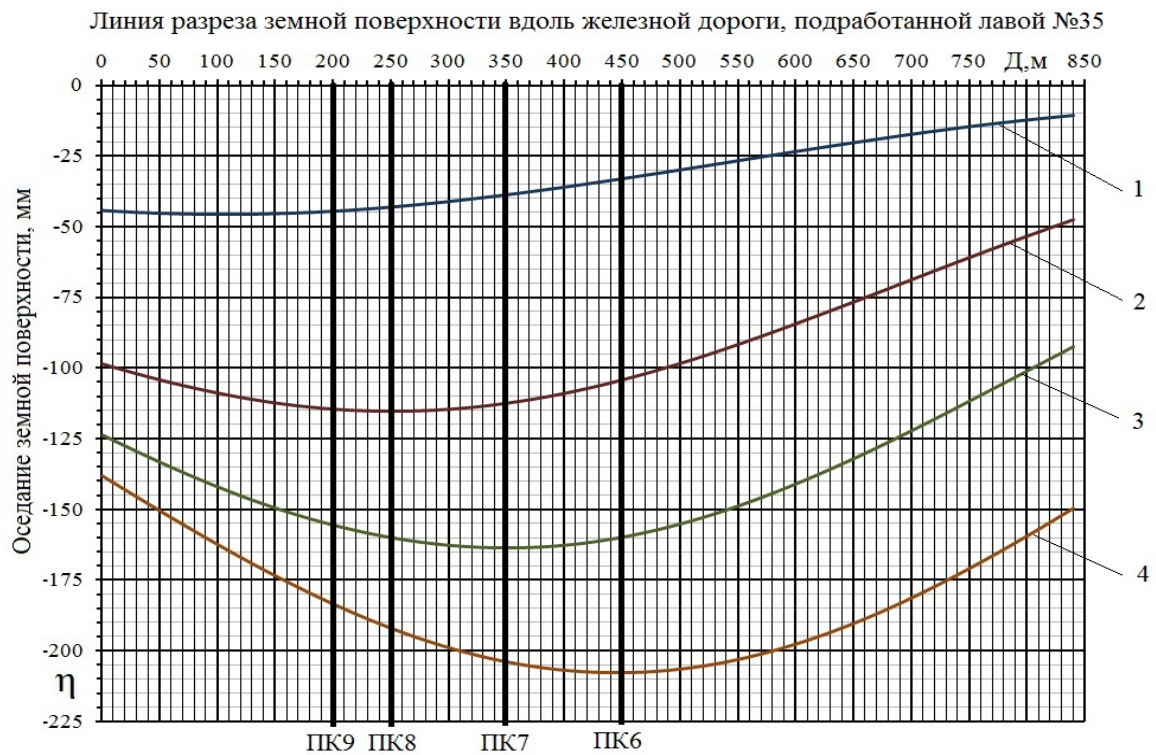


Рисунок 2 Оседания земной поверхности, полученные при содержании крепких пород 29 %
(1, 2, 3, 4 — оседания земной поверхности при отработке лавы № 35^{вост}
соответственно 240 м, 480 м, 660 м, 840 м)

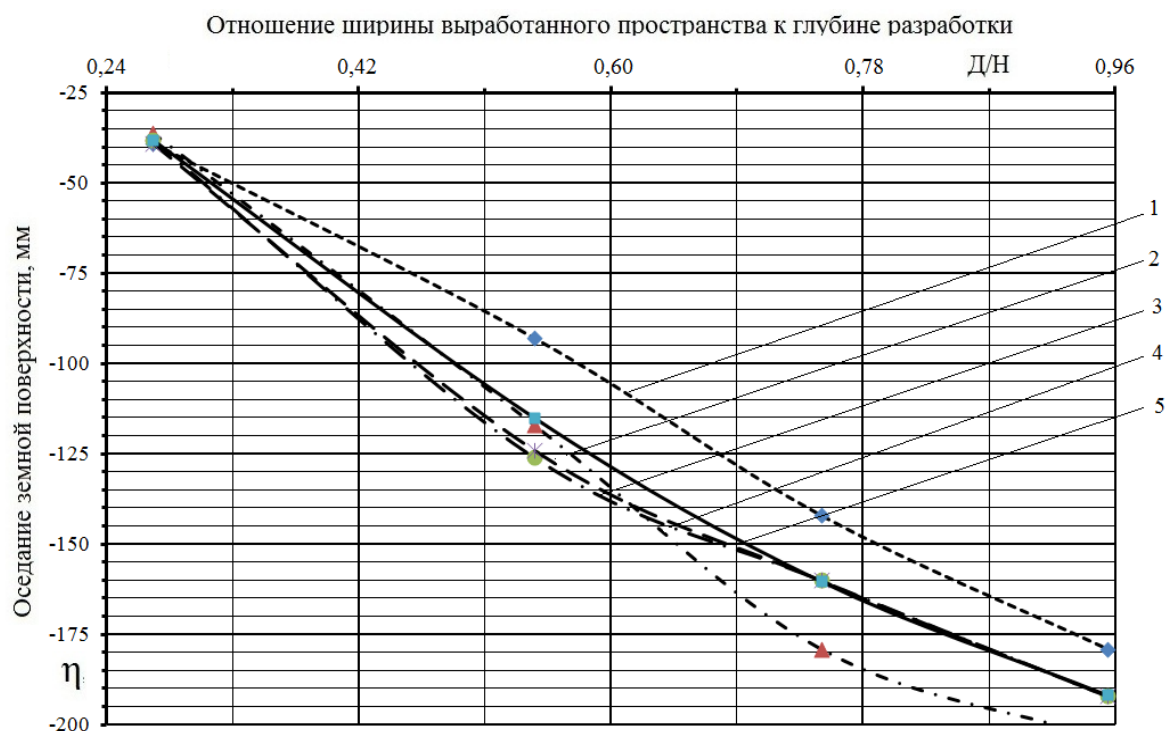


Рисунок 3 Оседания земной поверхности, вызванные подвиганием лавы № 35^{вост.} соответственно:
1 — на ПК6; 2 — на ПК7; 3 — на ПК8; 4 — на ПК9; 5 — среднее значение оседания

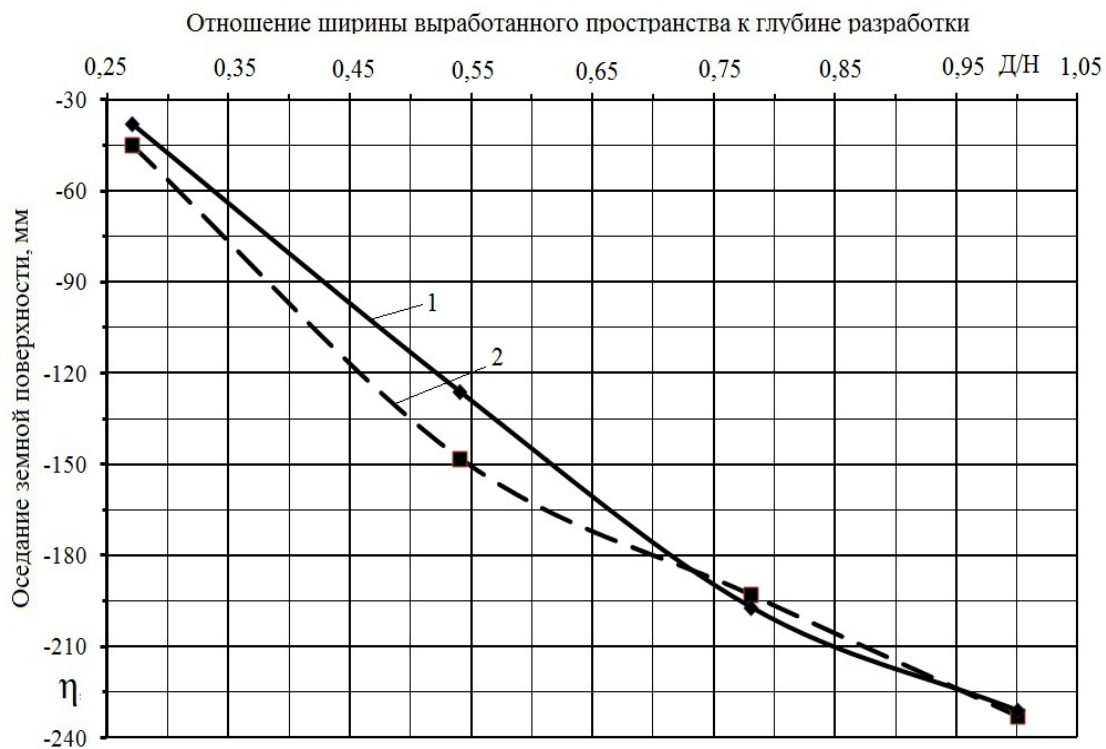


Рисунок 4 Оседания земной поверхности, вызванные подвиганием лавы № 35^{вост.} (1 — оседания, полученные на модели; 2 — среднее значение оседания, полученное по пикетам 6, 7, 8, 9)

Таблица 2

Максимальные оседания земной поверхности, полученные различными методами

Отношение ширины выработанного пространства D к глубине разработки H	Максимальные оседания, мм				
	фактические	нормативные	полученные на моделях при содержании крепких пород		
			0 %	29 %	100 %
0,27	-38	-72	-49	-43	-29
0,55	-126	-177	-129	-115	-77
0,75	-160	-192	-180	-159	-111
0,95	-192	-192	-220	-190	-139

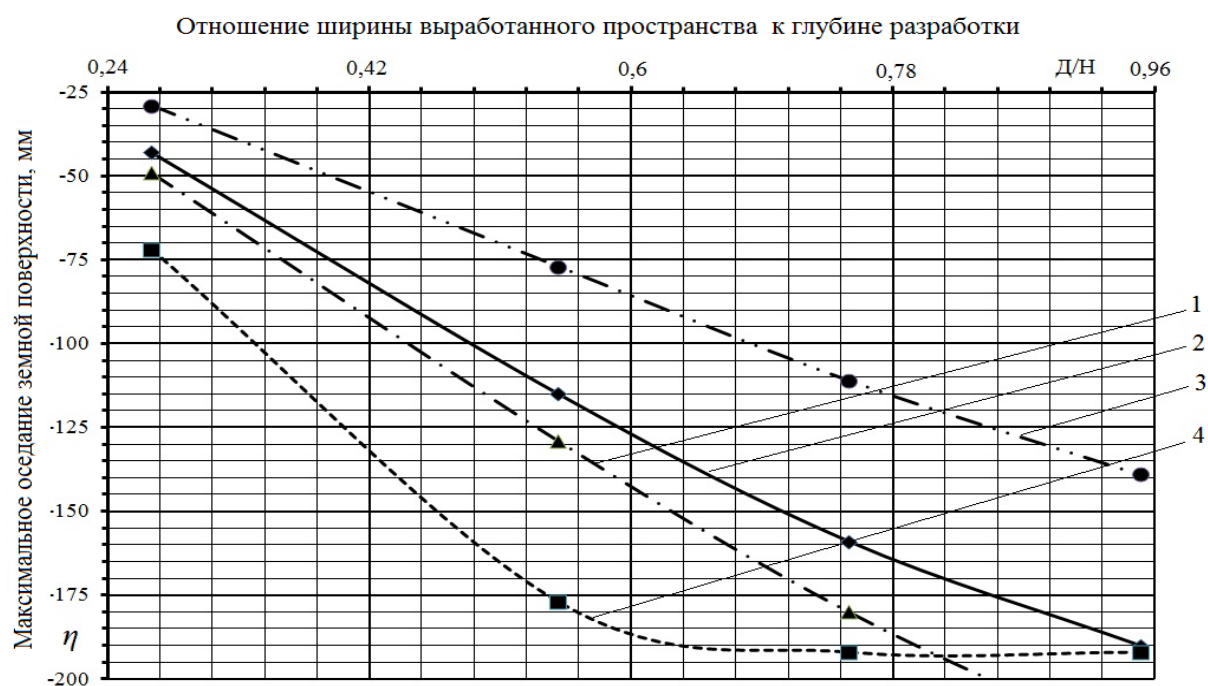


Рисунок 5 Зависимость максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства D к глубине разработки H угольного пласта (1, 2, 3 — зависимости максимальных оседаний от D/H , полученных при математическом моделировании соответственно при содержании крепких пород 0 %, 29 % и 100 %; 4 — зависимость максимальных оседаний от D/H , вычисленных по методике «Правил охраны ...»)

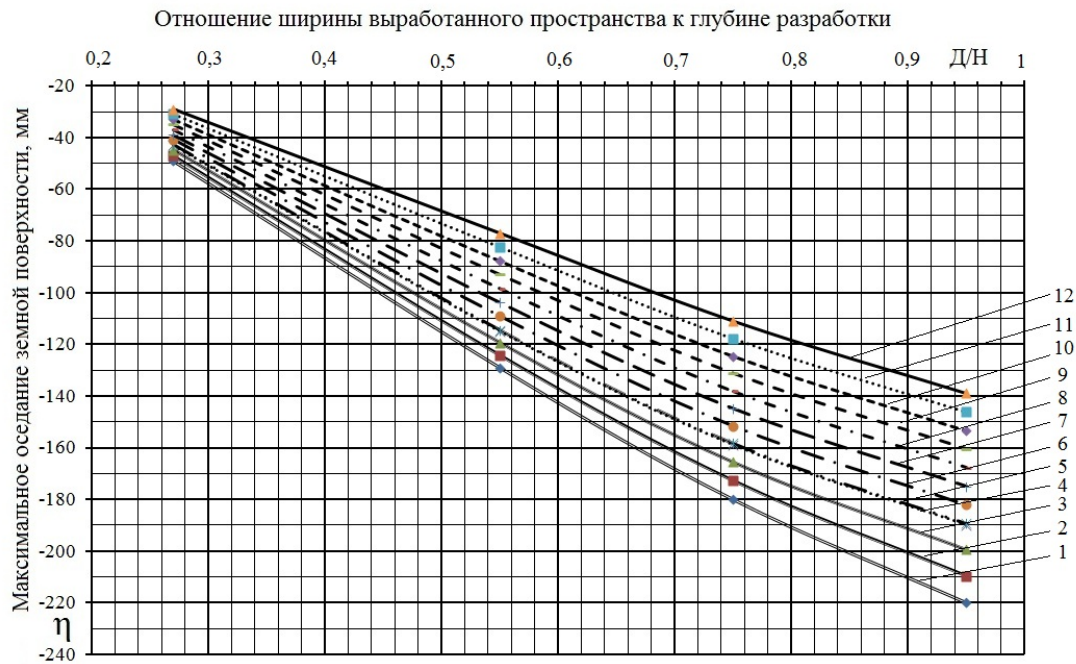


Рисунок 6 Зависимости максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства D к глубине H при разном содержании крепких пород в подработанной толще (1 — 0 %; 2 — 10 %; 3 — 20 %; 4 — 29 %; 5 — 30 %; 6 — 40 %; 7 — 50 %; 8 — 60 %; 9 — 70 %; 10 — 80 %; 11 — 90 %; 12 — 100 %)

Таблица 3

Поправочный коэффициент, вводимый при определении максимальных оседаний, вычисленный по нормативной методике, при различном процентном содержании песчаника в подработанной толще

Д/Н	Содержание крепких пород в земной толще, %										
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
0,27	1,47	1,53	1,60	1,67	1,68	1,76	1,85	1,95	2,06	2,19	2,32
0,55	1,37	1,43	1,48	1,54	1,55	1,62	1,71	1,80	1,90	2,02	2,15
0,75	1,07	1,11	1,16	1,21	1,21	1,27	1,33	1,39	1,46	1,54	1,63
0,95	0,87	0,92	0,96	1,01	1,01	1,05	1,10	1,14	1,20	1,25	1,31

Выводы. При прогнозировании сдвижений земной поверхности необходимо учитывать все крепкие слои пород и их чередование — от отрабатываемого пласта до поверхности.

При сравнении результатов максимальных оседаний, рассчитанных по «Правилам подработки...» [1] и путём математического моделирования, получены поправочные коэффициенты,

которые позволяют учесть слои крепких пород, на примере разработки угольного пласта h_8 лавой №35^{ВОСТ.} в условиях шахты им. М. В. Фрунзе бывшего ПО «Ровенькиантрацит».

Скорректированное максимальное оседание позволит повысить точность вычисления остальных параметров сдвижений и деформаций в точках главных сечений мульды по «Правилам подработки...».

Бібліографічний список

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Галузевий стандарт України [Текст] : ГСТУ 101.00159226.001-2003 : затв. Мінпаливноенерго України 28.11.2003. — Чинний з 01.01.2004. — Київ, 2004. — 127 с.
2. Аверин, Г. А. Прогнозирование максимальных оседаний земной поверхности при различном содержании крепких породных слоёв подработанного массива [Текст] / Г. А. Аверин, В. Г. Ларченко, Е. Г. Корецкая, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — 2016. — № 8. — С. 4–7.
3. Аверин, Г. А. Влияние слоистости на оседание земной поверхности [Текст] / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — 2010. — № 10. — С. 34–35.
4. Аверин, Г. А. Механические характеристики пород кровли [Текст] / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины, 2010. — № 4. — С. 38–40.

© Корецкая Е. Г.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,
и. о. гл. инженера Филиала «Шахта им. XIX съезда КПСС»
ГУП ЛНР «Центруголь» Зубковым С. В.

Статья поступила в редакцию 08.11.18.

Корецька О. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, balgala@ukr.net)

**МОДЕЛЮВАННЯ ОСІДАНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В УМОВАХ ПІДРОБКИ ЛАВОЮ
№ 35^{СХІД} пл. h₈ ШАХТИ ім. М. В. ФРУНЗЕ**

Наведено результати дослідження максимальних осідань земної поверхні з урахуванням чергування міцних порід, які виражено в процентному відношенні до глибини ведення очисних робіт, шляхом моделювання та натурних спостережень за залізницею, що підроблялася.

Ключові слова: математичне моделювання, метод кінцевих елементів, максимальні осідання земної поверхні, процентний зміст, міцні породні шари.

Koretskaia E. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR, balgala@ukr.net)

**MODELING OF THE EARTH CRUST SUBSIDENCE UNDER THE CONDITIONS
OF LONGWALL UNDERMINING № 35^{EAST}. LAYER h₈ OF FRUNZE MINE**

The research results of maximum earth crust subsidence are shown considering hard rock alternations presented in percentage ratio to a depth of coal-face working, by modeling and naturalistic observations for the railway undermined.

Key words: mathematical modeling, finite element method, maximum earth crust subsidence, percentage, hard rock layers.

**МЕТАЛЛУРГИЯ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**МЕТАЛУРГІЯ
ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**METALLURGY
AND MATERIAL SCIENCES**

УДК 621.762.4

д.т.н. Рябичева Л. А.,
Нагорный Е. В.

(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, ryabic@gmail.com)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА УПРОЧНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В статье исследовано совместное влияние температуры, скорости и степени деформации, исходной пористости образцов на процессы упрочнения порошковых медно-титановых материалов путём сжатия при повышенных температурах. Показано, что процессы уплотнения и упрочнения порошковой среды являются взаимосвязанными и определяются условиями деформации и исходной пористостью материала.

Ключевые слова: температуры, скорость, степень деформации, деформационное упрочнение, плотность, пористость.

Применение термомеханической обработки для формирования структурообразования и механических свойств сталей вызвало интерес к исследованиям динамических процессов разупрочнения порошковых материалов [1]. Динамические процессы разупрочнения наблюдаются как при тёплой, так и при горячей деформации компактных материалов. В порошковых материалах разупрочнение обычно связывают с наличием фазы пор и процессами, происходящими в частицах твёрдой фазы [2, 3]. Очевидно, основные закономерности процессов разупрочнения компактных материалов можно использовать для анализа деформирования порошковых материалов. При этом наличие пористости должно оказывать влияние на эволюцию микроструктуры и, соответственно, характеристики напряжённо-деформированного состояния.

Основными параметрами, характеризующими технологический процесс прессования порошковых материалов, являются температура, степень и скорость деформации [4]. Температура определяет вид разупрочняющих процессов. Скорость деформации влияет на их интенсивность. Степень деформации является параметром, определяющим вклад разупрочнения в физические процессы деформации.

Целью работы является анализ влияния температурно-скоростных условий деформирования на упрочнение и изменение пористости порошковых двухкомпонентных материалов.

Образцы изготавливали из механической смеси порошков меди ПМС-1 и титана ВТ1-0 с массовой долей титана 0,5 %. Диаметр образцов 8 мм, высота 12,86 мм, пористость 5 и 10 %, получали двусторонним прессованием на гидравлическом прессе силой 1000 кН. После спекания в среде генераторного газа в течение 3 ч выполняли одноосное сжатие на испытательной машине ZD-4 при скорости деформации 0,01 и 0,001 с⁻¹ в интервале температур 20–700 °С со степенью деформации 60 %. Полученные при сжатии индикаторные диаграммы перестраивали в координаты «напряжение – истинная деформация» по методике [5].

Зависимость «напряжение – деформация» описывается выражением

$$\sigma = \sigma_0 + K e_z^n, \quad (1)$$

где σ и σ_0 — текущее и начальное сопротивление твёрдой фазы соответственно; e_z — истинная осевая деформация; K и n — коэффициент и показатель деформационного упрочнения соответственно.

Приращение напряжения ($\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0$) и осевая деформация e_z связаны выражением

$$\ln \Delta\sigma = \ln K - n \ln e_z. \quad (2)$$

Согласно выражению (2) строили зависимости $\ln\Delta\sigma - \ln e_z$, по которым определяли величину показателя упрочнения n (табл. 1).

Таблица 1

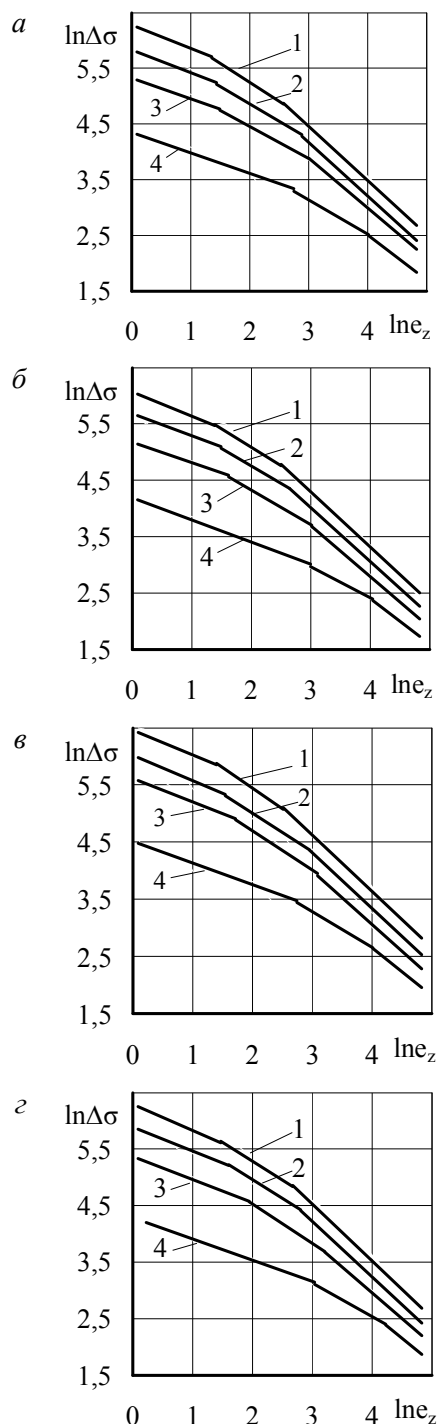
Величина показателя деформационного упрочнения n в зависимости от скорости и температуры деформации при одноосном сжатии

t, °C	n ₁		n ₂		n ₃	
	0,01 с ⁻¹	0,001 с ⁻¹	0,01 с ⁻¹	0,001 с ⁻¹	0,01 с ⁻¹	0,001 с ⁻¹
Исходная пористость 5 %						
20	0,98	0,97	0,67	0,65	0,43	0,40
300	0,90	0,88	0,58	0,54	0,37	0,35
400	0,95	0,94	0,63	0,6	0,41	0,38
700	0,82	0,8	0,54	0,52	0,34	0,3
Исходная пористость 10 %						
20	0,99	0,98	0,73	0,67	0,46	0,44
300	0,93	0,91	0,63	0,6	0,4	0,36
400	0,97	0,96	0,68	0,64	0,45	0,42
700	0,86	0,84	0,59	0,56	0,36	0,38

Характерно наличие трёх прямолинейных участков с углом наклона, зависящим от условий деформации и исходной пористости материала (рис. 1). Наличие трёх участков деформационного упрочнения свидетельствует об изменении механизма деформации, вызванного преобразованиями дислокационных структур [6].

Увеличение скорости деформации при прочих равных условиях способствует повышению показателя деформационного упрочнения. С увеличением пористости наблюдается также рост показателя упрочнения n , что объясняется геометрическим упрочнением при уплотнении материала [7]. Повышение температуры деформации приводит к снижению показателя деформационного упрочнения вследствие развития процессов динамического возврата и рекристаллизации [4]. Однако деформационное старение при 400 °C обеспечивает увеличе-

ние показателя деформационного упрочнения [7], о чём свидетельствует повышение напряжений при этой температуре (рис. 1).



а, в — $\theta_0 = 5\%$; б, г — $\theta_0 = 10\%$;

1 — 20 °C, 2 — 400 °C, 3 — 300 °C, 4 — 700 °C

Рисунок 1 Зависимость $\ln\Delta\sigma - \ln e_z$ при скорости деформации 0,001 с⁻¹ — а, б; 0,01 с⁻¹ — в, г

Так же как и n , коэффициенты деформационного упрочнения K на трёх стадиях зависят от условий деформации и начальной пористости материала (рис. 2). С повышением температуры развиваются процессы динамического разупрочнения, поэтому коэффициент K имеет тенденцию к снижению. При температуре 400 °С, по аналогии с n , наблюдается увеличение K . Увеличение скорости деформации приводит к росту коэффициентов деформационного упрочнения. При исходной пористости 5 % K принимают большие значения, чем при 10 % (рис. 2). По мнению авторов [8], более интенсивное разупрочнение материалов с большей пористостью имеет структурную природу.

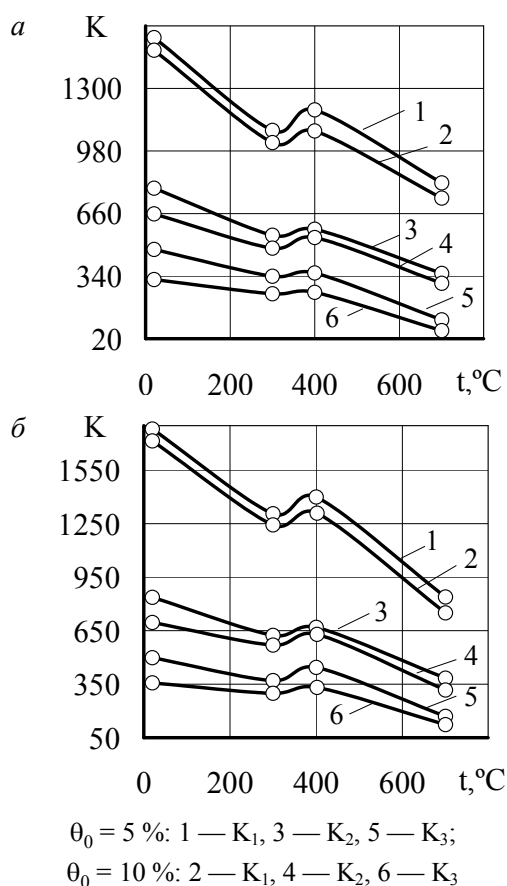
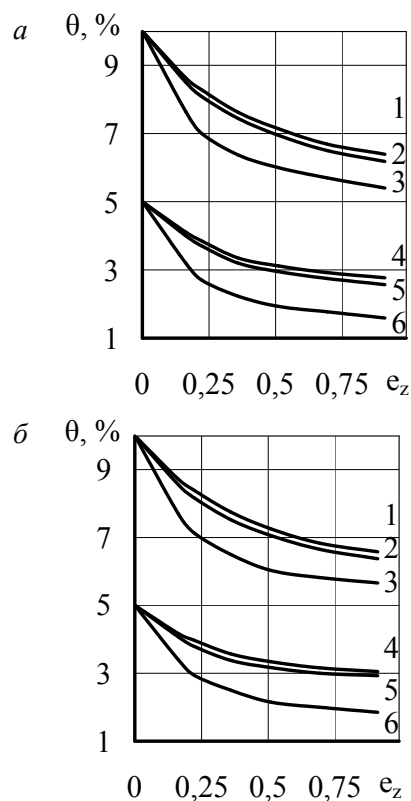


Рисунок 2 Зависимость коэффициентов деформационного упрочнения от температуры при скорости деформации $0,001 \text{ c}^{-1}$ — а; $0,01 \text{ c}^{-1}$ — б

Величина коэффициентов деформационного упрочнения (рис. 2) на первой стадии больше, чем на второй и третьей, что связано со сменой механизма деформации [9].

Деформация порошковых материалов при наличии сжимающих нагрузок сопровождается параллельно идущими процессами упрочнения и уплотнения. Исследования влияния температурно-скоростных условий деформации на изменение пористости порошковых медно-титановых материалов при одноосном сжатии представлены на рисунке 3.

С увеличением степени деформации наблюдается снижение пористости. Причём при большей скорости деформации это снижение более интенсивно. При обеих скоростях деформации пористость при температуре 400 °С изменяется менее интенсивно. Причина этому — всё то же деформационное старение твёрдой фазы.



1, 4 — 400 °С; 2, 5 — 300 °С; 3, 6 — 700 °С

Рисунок 3 Изменение пористости при скорости деформации $0,01 \text{ c}^{-1}$ — а; $0,001 \text{ c}^{-1}$ — б

С ростом температуры интенсивность уплотнения увеличивается. Исключение составляет поведение материала при температуре 400 °С. Характер процесса уплотнения описывается экспоненциальной зависимостью изменения пористости от осевой деформации [5]:

$$\theta = \theta_0 \exp(-ke_z), \quad (3)$$

где k — коэффициент интенсивности уплотнения.

Коэффициент интенсивности уплотнения определяется путём построения зависимостей $\ln \theta_0 / \theta - e_z$, углы касательных к которым соответствуют значениям k (табл. 2).

Таблица 2

Величина коэффициента интенсивности уплотнения k в зависимости от скорости деформации при одноосном сжатии

t, °С	k_1		k_2		k_3	
	0,01 с ⁻¹	0,001 с ⁻¹	0,01 с ⁻¹	0,001 с ⁻¹	0,01 с ⁻¹	0,001 с ⁻¹
Исходная пористость 5 %						
300	1,25	1,1	0,46	0,38	0,31	0,25
400	1,12	0,94	0,41	0,35	0,24	0,2
700	2,76	2,37	1,17	1,09	0,52	0,41
Исходная пористость 10 %						
300	0,83	0,78	0,41	0,38	0,23	0,20
400	0,76	0,71	0,39	0,37	0,21	0,18
700	1,61	1,53	0,64	0,56	0,31	0,28

На начальной стадии деформирования происходит интенсивное уплотнение образцов, которое характеризуется наиболее высоким коэффициентом k_1 . С увеличением степени деформации интенсивность уплотнения снижается, и значения k_2 и k_3 уменьшаются. Механизмом, приводящим к уменьшению пористости материалов, является вытягивание пор и последующее схватывание их стенок. С увеличением

степени деформации возрастает деформационное упрочнение, препятствующее этому процессу. Коэффициент интенсивности уплотнения образцов с исходной пористостью 5 % больше, чем с пористостью 10 % (табл. 2).

На характер уплотнения оказывают влияние температура и скорость деформации, а также исходная пористость образца. С повышением скорости деформации коэффициенты k на каждой стадии принимают большие значения. Повышение температуры активизирует процессы разупрочнения, способствующие интенсивному уплотнению образцов. Особенность уплотнения порошковых медно-титановых материалов при повышенных температурах деформации состоит в том, что при 400 °С наблюдается снижение интенсивности данного процесса, вызванного упрочнением при этой температуре.

Вывод. Анализ влияния условий деформации на процессы уплотнения и упрочнения порошковых медно-титановых материалов с различной исходной пористостью при одноосном сжатии показал, что снижение скорости деформации приводит к уменьшению упрочнения и тем интенсивнее, чем выше температура и больше исходная пористость образцов. Рост степени деформации сопровождается уменьшением пористости, причём данный процесс происходит тем интенсивнее, чем ниже исходная пористость деформируемого тела и выше скорость деформации. Влияние температуры на уплотнение порошковых медно-титановых материалов выражается в снижении пористости с её ростом. Исключение составляет поведение материала при 400 °С, когда развиваются процессы динамического деформационного старения.

Библиографический список

1. Рябичева, Л. А. К вопросу разупрочнения при горячей деформации [Текст] / Л. А. Рябичева // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. — Краматорськ, 2002. — С.173–177.

2. Humphreys, F. J. Developing stable fine-grain microstructures by large strain deformation [Text] / F. J. Humphreys, P. B. Prangnell, J. R. Bowen, A. Gholinia, C. Harris // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. — 1999. — Vol. 357. — P. 1663–1681.
3. Бернштейн, М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов [Текст] / М. Л. Бернштейн. — М. : Металлургия, 1968. — 1171 с.
4. Наумичев, Б. А. Уплотнение пористых заготовок при пластическом деформировании [Текст] / Б. А. Наумичев // Кузнечно-штамповочное производство. — 1992. — № 7. — С. 6–7.
5. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических металлов [Текст] / В. И. Трефилов, В. Ф. Моисеев, Э. П. Печковский и др.; под ред. В. И. Трефилова. — К. : Наук. думка, 1987. — 248 с.
6. Ryabicheva, L. The influence of warm deforming modes on compaction of porous copper billets [Text] / L. Ryabicheva, D. Usatuk, Y. Nikitin // Third international conference & exhibition on powder metallurgy. — Romania : Technical University of Cluj-Napoca, 2005. — P. 224–226.
7. Ryabicheva, L. A. Deformation and destruction of porous copper at the elevated temperatures [Text] / L. A. Ryabicheva, D. A. Usatyuk // Materials Science Forum Vols. — 2007. — № 10. — P. 588–589.
8. Структура и прочность порошковых материалов [Текст] / С. А. Фирстов, А. Н. Демидык, И. И. Иванова и др.; под ред. С. А. Фирстова, М. Шлесара. — К. : Наук. думка, 1993. — 175 с.
9. Datta, A. The structure and properties of age hardening Cu–Ti alloys [Text] / A. Datta, W. A. Soffa // Acta met. — 1976. — 24, № 11. — P. 987–1001.

© Рябичева Л. А.© Нагорный Е. В.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ОМДиМ ДонГТУ Денищенко П. Н.,
к.т.н., доц., зав. каф. ОМДиС ЛНУ им. В. Даля Стояновым А. А.**

Статья поступила в редакцию 09.10.18.

**д.т.н. Рябичева Л. О., Нагорный Е. В. (ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, ryabic@gmail.com)
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ І ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА ЗМІЦНЕННЯ ПОРОШКОВИХ
ДВОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

У статті досліджено спільний вплив температури, швидкості та ступеня деформації, вихідної пористості зразків на процеси зміцнення порошкових мідно-титанових матеріалів шляхом стиснення при підвищених температурах. Показано, що процеси ущільнення і зміцнення порошкового середовища є взаємопов'язаними і визначаються умовами деформації та вихідною пористістю матеріалу.

Ключові слова: температура, швидкість, ступінь деформації, деформаційне зміцнення, ущільність, пористість.

Doctor of Tech. Sc. Ryabicheva L. A., Nagornyi E. V. (LNU after V. Dahl, Lugansk, LPR, ryabic@gmail.com)

**EFFECT OF TEMPERATURE AND STRAIN RATE ON HARDENING A POWDER
TWO-COMPONENT SYSTEMS AT ELEVATED TEMPERATURES**

The article deals with the study of the combined effect of temperature, rate and degree of deformation, the initial porosity of patterns on the processes of hardening the powder copper-titanium materials under compression at elevated temperatures. It is shown that the processes of compaction and hardening of the powder are interrelated and are determined by the deformation conditions and the initial porosity of the material.

Key words: temperature, rate, degree of deformation, strain hardening, density, porosity.

УДК 621.73.073

к.т.н. Дубасов В. М.

(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, dubasov1955@mail.ru)

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

Определены режимы полугорячего выдавливания сталей 5Х3В3МФС, 4Х5МФС, 7Х3, 45Х, обеспечивающие получение высокой прочности и пластичности. Показано, что это достигается деформированием в интервале температур фазовых превращений за счёт сформированной в процессе деформации мелкозернистой перлитно-ферритной структуры, имеющей дисперсные равномерно распределённые, сфероидизированные и ориентированно расположенные карбидные частицы в перлите и тонкую субзернистую структуру в феррите. Структура устойчива, она наследуется при нагреве под термическую обработку и оказывает положительное влияние на свойства термообработанной стали.

Ключевые слова: выдавливание, фазовые превращения, структура, свойства, нагрев, перлит, сталь.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Экономия материала и снижение энергетических затрат в технологических процессах объёмного деформирования относятся к актуальным задачам современного штамповочного производства. Одним из путей решения этих задач является применение малоотходного и малоэнергоёмкого процесса полугорячего выдавливания.

Технологические процессы полугорячего выдавливания сталей, осуществлённые при температурах 600...800 °С, имеют преимущества по сравнению с холодной и горячей обработкой. Нагрев сталей до сравнительно невысоких температур не вызывает значительного окисления поверхности металла, повышает пластичность и снижает удельные усилия деформирования в 1,5...2 раза и более по сравнению с холодным выдавливанием [1], что даёт возможность обрабатывать высокопрочные легированные стали и получать точные заготовки, не требующие механической обработки. Особенностью процесса является наличие определённого эффекта упрочнения металла при совместном воздействии пластической деформации и температуры [1]. Вызываемые наклёпом изменения строения стали обычно устойчивые и сохраняются после двой-

ной фазовой перекристаллизации $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$, поэтому предварительная пластическая деформация может играть существенную роль в формировании структуры аустенита при последующей термической обработке. На получение свойств оказывает влияние наследственная передача дефектов строения: плотность несовершенств, фрагментация структуры, а также измельчение аустенитного зерна [2].

Постановка задачи. Задачей экспериментальных исследований является более глубокое изучение протекающих при деформации и охлаждении процессов деформирования и изменения структуры металла и причин, вызывающих аномальное изменение механических свойств сталей после полугорячего выдавливания.

Изложение материала и его результаты. Выдавливание осуществляли на гидравлическом прессе, имеющем скорость рабочего хода 15 мм/с. Из заготовок диаметром 40 мм прямым способом выдавливали образцы с диаметром стержня 25,3 мм, что соответствовало степени деформации 40 %. Из таких заготовок получали стандартные образцы на растяжение с диаметром рабочей части 5 мм.

Исследуемые режимы интервала температур 600...800 °С разбиты на три группы:

1) пластическая деформация при температурах ниже критической точки A_{c1} ;

2) пластическая деформация с протеканием фазовых превращений в интервале температур $A_{c1}-A_{c3}$;

3) пластическая деформация при температурах выше критической точки A_{c3} .

Схемы последних двух режимов можно отнести к вариантам термомеханической обработки с распадом деформированного аустенита по перлитному механизму.

Температура деформации при втором режиме принималась на 10...30 °C выше критической точки A_{c1} . При этих температурах структура стали аустенитно-ферритная. Нагрев до температуры 800 °C обеспечивал во всех сталях, кроме 4X5МФС, получение однородной аустенитной структуры, т. к. критические точки A_{c1} для сталей 5X3В3МФС, 4X5МФС, 7X3, 45X соответствуют температурам 790, 840, 770, 735 °C.

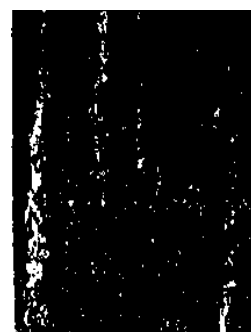
Микроструктуру образцов исследовали в световом микроскопе. Для травления применялся 4%-й раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Выполненные микроструктурные исследования показали, что чем больше легирована сталь, тем более значительные изменения наблюдаются в структуре при деформации и аустенитно-ферритном состоянии. Так, микроструктура стали 4X5МФС после деформации при температуре 600 °C имеет строчечную ферритно-перлитную структуру с величиной зерна 6–7 баллов. В процессе деформации, сопровождающейся фазовой перекристаллизацией $\alpha \rightarrow \gamma$, происходит измельчение зерна до 12-го балла и сфероидизация частиц цементита. Более значительные изменения после деформации при 800 °C наблюдаются в структуре стали 5X3В3МФС в сравнении с деформацией при 600 °C: структура становится почти перлитная с небольшими вытянутыми участками феррита, который остаётся непревращённым при температуре нагрева. Увеличение количества перлита свидетельствует о возрастании скорости превращения деформированного

аустенита в перлит. Это хорошо согласуется с данными работы [3], в которой показано, что в сталях подобного класса 35ХН5С деформация аустенита при температуре 800 °C сокращает период распада аустенита в 1,5, а при 600 °C — в 2 раза. В связи с увеличением скорости превращения выделяется меньше избыточного феррита, и поэтому количество перлита значительно возрастает. Микроструктура сталей приведена на рисунке 1.



а) $\times 340$



б) $\times 340$



в) $\times 1000$

Рисунок 1 Микроструктура стали 5X3В3МФС после полугорячей деформации ($\epsilon=40\%$):

а — температура 600 °C;
б, в — температура 700 °C

При изучении строения перлита установлено, что в результате проведённой обработки при 800 °С в перлите наблюдается направленность цементитных пластин, повышение их дисперсности и сфероидизации, большая часть которых разворачивается в направлении наибольшего течения металла. Образование ориентированного перлита, по-видимому, можно объяснить и тем, что при нагреве до температуры намного выше A_{c1} сохраняется сильная неоднородность аустенита по углероду. В связи с этим после деформации и охлаждения наблюдается избирательное выстраивание карбидных пластин [7].

На рисунке 2 показаны изменения механических свойств сталей в зависимости от температуры выдавливания. С повышением температуры до 700 °С, а для стали 4Х5МФС — и до 800 °С, наблюдается понижение прочности и повышение пластичности за счёт протекающих процессов возврата и рекристаллизации.

При температуре выдавливания 600 °С уровень прочностных свойств довольно высок при достаточной пластичности. Вероятно, при этой температуре выдавливания преобладающее влияние на уровень прочностных свойств оказывают процессы, которые задерживают разрушение металла. Подобную картину упрочнения металла наблюдали при тёплой прокатке стали 60Х3Г8Н8В в работе [4], авторы которой считают, что повышение прочности указанной стали в диапазоне температур 300...500 °С вызвано полигонизацией. Возможность полигонизации непосредственно в ходе пластической деформации в указанном интервале температур отмечалась и в работе [5].

Из рассмотрения зависимости свойств сталей от температуры (см. рис. 2.) видно, что появляются пороговые температуры, по достижении которых резко изменяются механические свойства. Проведение выдавливания в аустенитно-ферритном состоянии (стали 5Х3В3МФС и 7Х3 при 800 °С, стали 45Х при 750 °С) приводит к скачкообразному увеличению $\sigma_{0,2}$ сталей 5Х3В3МФС и

7Х3 на 180 и 110 МПа по сравнению с выдавливанием при 600 °С, причём пластичность здесь незначительно снижается и остаётся на достаточно высоком уровне ($\psi=30...40\%$). Кроме того, значение прочностных свойств стали 5Х3В3МФС после выдавливания при температуре 800 °С $\sigma_{0,2}=1420$ МПа, почти такое же, как его величина после стандартной термической обработки (закалка и отпуск при 670 °С) — $\sigma_{0,2}=1400...1500$ МПа. Для стали 4Х5МФС повышение прочностных свойств не наблюдается, вероятно, в связи с тем, что температура фазовых превращений A_{c1} для этой стали 840 °С.

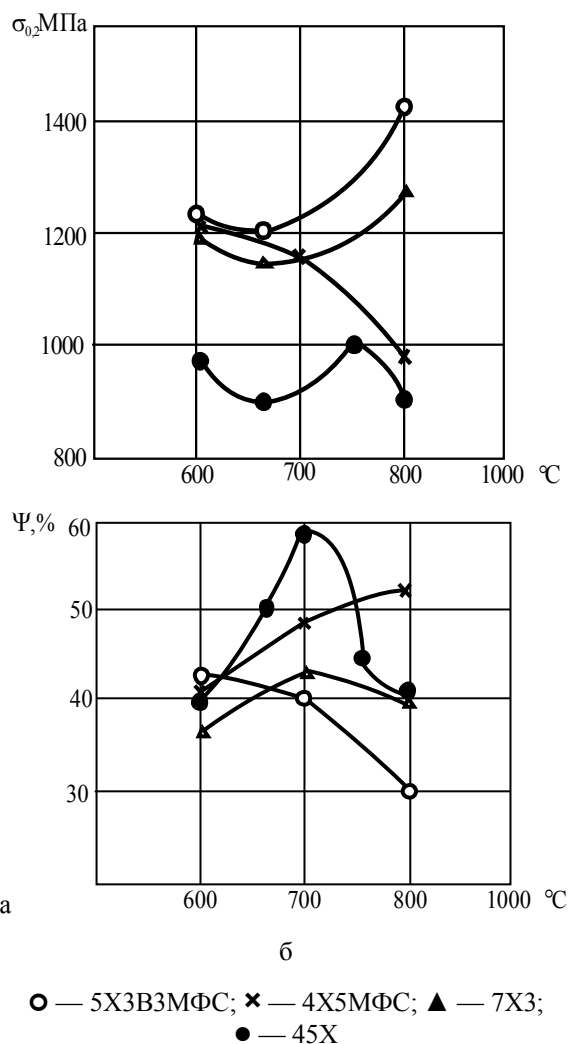


Рисунок 2 Зависимость механических свойств образцов после выдавливания со степенью деформации 40 % от температуры

Необходимо отметить одну особенность изменения относительного сужения после выдавливания стали 5ХЗВЗМФС (рис. 2, б). При температуре деформации 800 °С, несмотря на повышение характеристик прочностных свойств, относительное сужение изменяется незначительно. Это является свидетельством рационального формирования структуры и субструктуры металла при деформации в области фазовых превращений, которая позволяет, наряду с высокими прочностными свойствами, сохранять высокую пластичность.

Как следует из данных работы [1], ход кривых $\sigma_{0,2}=f(t)$ не согласуется с температурной зависимостью удельных усилий выдавливания. При повышении температуры от 400 до 800 °С наблюдается монотонное снижение сопротивления деформированию сталей 12Х2Н4А и 20ХНЗА, а после охлаждения прочностные свойства этих сталей, выдавленных при температурах 700...720 °С, находятся на уровне свойств после выдавливания при 400 °С. Это свидетельствует о том, что основные процессы упрочнения протекают не в период пластической деформации, а при охлаждении образцов. Наличие высоких степеней деформации и уровень гидростатического давления при выдавливании дают основание полагать, что в данном случае основа для получения повышенных прочностных характеристик закладывается в процессе пластического деформирования стали в области температур фазовых превращений за счёт деформирования субструктуры с повышенным содержанием дефектов. Вероятно, здесь действует механизм упрочнения, как при термомеханической обработке с деформацией во время перлитного превращения (ТМИЗО). По сравнению со сталью с ферритно-перлитной структурой, полученной после обычной горячей обработки давлением, сталь после ТМИЗО обладает более высоким пределом текучести и повышенной пластичностью. Согласно [6], такая обработка приводит к формированию тонкой субзёрненной структуры в феррите и замене карбидных пластин в перлите на дисперсные сферические равномерно распределённые частицы. Субзёрненная струк-

тура феррита формируется в результате полигонизации во время пластической деформации и в паузах между обжатиями. Дисперсные сферические частицы карбида могут зарождаться на дислокациях в аустените, а могут также появляться в результате фрагментации карбидных пластин и их сфероидизации, ускоренной деформацией. Существует оптимальная температура пластической деформации, выше которой субзёрна и карбидные частицы получаются крупнее, а ниже — не успевают сформироваться совершенные субзёрненные границы.

Подобный механизм упрочнения сталей имеет место при контролируемой прокатке [6]. Основная идея этой обработки заключается в подборе таких режимов деформации и охлаждения после неё, которые определяют получение мелкого однородного зерна и создание субструктуры во время и, главным образом, после горячей обработки. При этом оптимальный комплекс механических свойств получается в случае, когда феррит имеет фрагментированное полигональное строение, что достигается при температурах окончания прокатки ниже точки A_3 [7]. Поскольку структура металла поковки после полугорячей штамповки в большинстве своём формируется в процессе охлаждения, то, по-видимому, скорость охлаждения будет влиять на окончательные свойства.

Выводы. После полугорячей деформации штамповых сталей в аустенитно-ферритном состоянии при оптимальной температуре и последующем охлаждении с определённой скоростью может быть получен комплекс механических свойств, отличающихся высокой прочностью и пластичностью. Это достигается за счёт сформированной в процессе деформации и охлаждения мелкозернистой перлитно-ферритной структуры, имеющей тонкую субзёрненную структуру в феррите и дисперсные, равномерно расположенные, сфероидизированные и ориентированно расположенные карбидные частицы в перлите. Структурные изменения повышают прочностные свойства тем более значительно, чем больше легирована сталь.

Библіографічний список

1. Дорошко, В. И. Исследование влияния полугорячей пластической деформации на структуру и свойства легированных сталей [Текст] / В. И. Дорошко, Л. И. Карташова, В. М. Дубасов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. — Луганськ : Вид-во СУДУ. — 1997. — С. 28–32.
2. Дорошко, В. И. Эффект наследования в деформированной стали 20Х [Текст] / В. И. Дорошко, Л. И. Карташова, А. А. Андрюшук // Металловедение и термическая обработка металлов. — 1979. — № 4. — С. 17–18.
3. Соколов, К. Н. Влияние пластической деформации на кинематику изотермического превращения аустенита [Текст] / К. Н. Соколов, Р. И. Энтин, В. М. Хлестов // Металловедение и термическая обработка металлов. — 1973. — № 1. — С. 11–13.
4. Богачева, Г. Н. Упрочнение стали 60ХЗГ8Н8В при тёплой прокатке [Текст] / Г. Н. Богачева, К. А. Малышев, В. Д. Садовский // Упрочнение сталей. — Свердловск, 1980. — С. 112–116.
5. Горелик, С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов [Текст] / С. С. Горелик. — М. : Металлургия, 1978. — 577 с.
6. Бернштейн, М. Л. Структура деформированных металлов [Текст] / М. Л. Бернштейн. — М. : Металлургия, 1977. — 431 с.
7. Новик, И. И. Теория термической обработки металлов [Текст] : учебник / И. И. Новик. — [3-е изд., перераб. и доп.]. — М. : Металлургия, 1972. — 392 с.

© Дубасов В. М.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ОМДиС ЛНУ им. В. Даля Стояновым А. А.,
к.т.н., доц., зав. каф. ОМДиМ ДонГТУ Денищенко П. Н.**

Статья поступила в редакцию 08.10.18.

к.т.н. Дубасов В. М. (ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР)

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙНО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ

Визначено режими напівгарячого видавлювання сталей 5ХЗВЗМФС, 4Х5МФС, 7ХЗ, 45Х, що забезпечують отримання високої міцності і пластичності. Показано, що це досягається деформуванням в інтервалі температур фазових перетворень за рахунок сформованої в процесі деформації дрібнозернистої перлітно-феритної структури, що має дисперсні рівномірно розподілені, сфероїдизовані і орієнтовано розташовані карбідні частки в перліті і тонку субзернову структуру у фериті. Структура стійка, вона наслідуються при нагріванні під термічну обробку і позитивно впливає на властивості термообробленої сталі.

Ключові слова: видавлювання, фазові перетворення, структура, властивості, нагрівання, перліт, сталь.

PhD Dubasov V. M. (LNU after V.Dahl, Lugansk, LPR, dubasov1955@mail.ru)

INFLUENCE OF DEFORMATION-HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF DIE STEELS

There have been defined the modes of half-hot extrusion of steel 5Cr3W3MoVCi, 4Cr5MoVCi, 7Cr3, 45Cr, which ensure high strength and ductility. It is shown that this is achieved by deformation in the temperature range of phase conversions due to the fine-grained pearlite-ferrite structure formed in the deformation process, which has dispersed uniformly distributed, spheroidized and oriented carbide particles in perlite and a thin subgrain structure in ferrite. The structure is stable, it comes after heating under heat treatment and has a positive effect on the properties of heat-treated steel.

Key words: extrusion, phase transformations, structure, properties, heating, perlite, steel.

**СТРОИТЕЛЬСТВО
И АРХИТЕКТУРА**

**БУДІВНИЦТВО
І АРХІТЕКТУРА**

**CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

УДК 504.05

д.т.н. Дрозд Г. Я.

(ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

ТВЁРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ В ДОНБАССЕ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Приведены сведения о качественно-количественном составе твёрдых бытовых отходов (ТБО) в Донбассе, основных подходах в сфере обращения с отходами, прогнозирование роста отходов, уточнение норм накопления и тарифов на их удаление. На примере зарубежного опыта показано экономическое стимулирование для раздельного сбора отходов с учётом роли экологического и культурного воспитания населения.

Ключевые слова: твёрдые бытовые отходы, утилизация, вторичное сырьё, раздельный сбор ТБО, культурные аспекты.

Формулировка проблемы. Существующая в регионе проблема мусора не решается в полной мере. Вторичная переработка ТБО находится на крайне низком уровне. Это обстоятельство обуславливает основную экологическую проблему региона, которая в значительной мере может быть решена в результате использования определённой части ТБО в качестве источника вторичного сырья.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] предложено кардинальное решение проблемы отходов в Донбассе на основе создания сектора обращения с отходами с потенциальной годовой эффективностью вовлечения в хозяйственный оборот переработанной продукции до 1 млрд руб. Однако теоретические предпосылки выдвинутых предложений требуют дополнительного анализа отдельных факторов как в сфере образования ТБО в различных населённых пунктах, прогнозировании их качественного и количественного состава, так и в сфере сбора, вывоза и утилизации на основе существующих подходов, норм накопления, тарифов на отдельные технологические операции, а также формирования осознанного обращения с отходами.

Цель работы — выявить основные закономерности образования потоков ТБО в Донбассе и обосновать подходы к раздельному сбору ТБО и его экономически обоснованной утилизации.

Изложение материала и его результаты. Количество образования отходов на 1 человека зависит от социальных и экономических условий. Это подтверждается значительной разницей норм образования твёрдых бытовых отходов в различных странах (табл. 1).

Как следует из таблицы, норма накопления ТБО на человека в странах бывшего СССР в 2–4 раза ниже, чем за рубежом. Согласно СНиП 2.07.01.89 (приложение 11), норма накопления ТБО на 1 жителя составляет 190–225 кг/год или 0,9–1,0 м³/год [2]. Это стало причиной пересмотра норм накопления ТБО отдельными городскими администрациями в сторону увеличения в 1,5–2,5 раза [3].

Для г. Луганска с населением около 430 тыс. человек в 2016–2017 гг. количество образованных ТБО составило 800 тыс.–1 млн м³ или 160–200 тыс. т по массе. Фракционный состав ТБО Луганска (%) приведён на рисунке 1.

На рисунке 2 приведён состав ТБО ряда городов ДНР. По своему составу ТБО в регионе Донбасса представляют гетерогенную смесь, различающуюся крупностью, свойствами и степенью опасности компонентов. Усреднённые показатели отходов Донбасса представляют собой (рис. 1, 2): пищевые и растительные отходы — 30–40 %; макулатурообразующие компоненты — 5–15 %; пластик, по-

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

лимерная упаковка — до 10 %; стекло — 3–7 %; текстиль — 3–5 %; чёрные металлы — 1–3 %; цветные металлы — 0,4–0,5 %; дерево, кожа резина, камни, кости — по 1–2 %; строительный мусор — 5 %; 10–25 % приходится на прочие отходы и

так называемый отсев (фракцию до 20 мм переменного состава). Состав отходов в городах зависит от типа потребления жителей (стиля жизни) и их доходов (уровня жизни). Состав бытовых отходов зависит и от сезона года (рис. 3).

Таблица 1

Количество образования ТБО на душу населения в различных странах мира (2000 г.)

Страна	Количество ТБО, кг/чел. год	Страна	Количество ТБО, кг/чел. год
Австрия	556	Нидерланды	613
Бельгия	534	Португалия	453
Дания	665	Испания	397
Финляндия	364	Швеция	428
Франция	530	Великобритания	493
Германия	537	Исландия	705
Греция	372	Норвегия	613
Ирландия	601	США	812
Италия	502	РФ	220
Люксембург	643	Донбасс	220

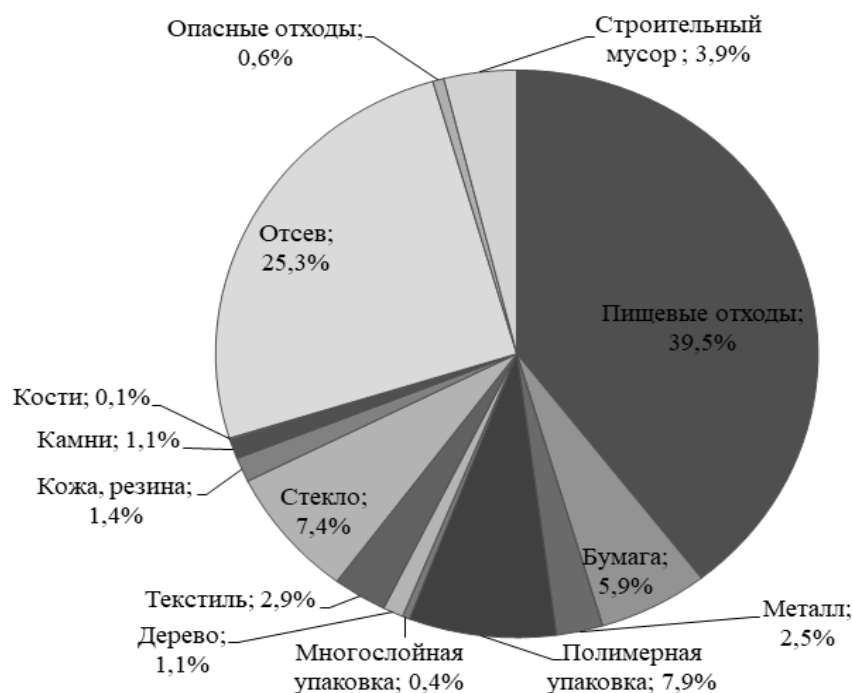


Рисунок 1 Морфологический состав ТБО Луганска

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



Рисунок 2 Морфологический состав ТБО отдельных городов Донбасса (% по массе)

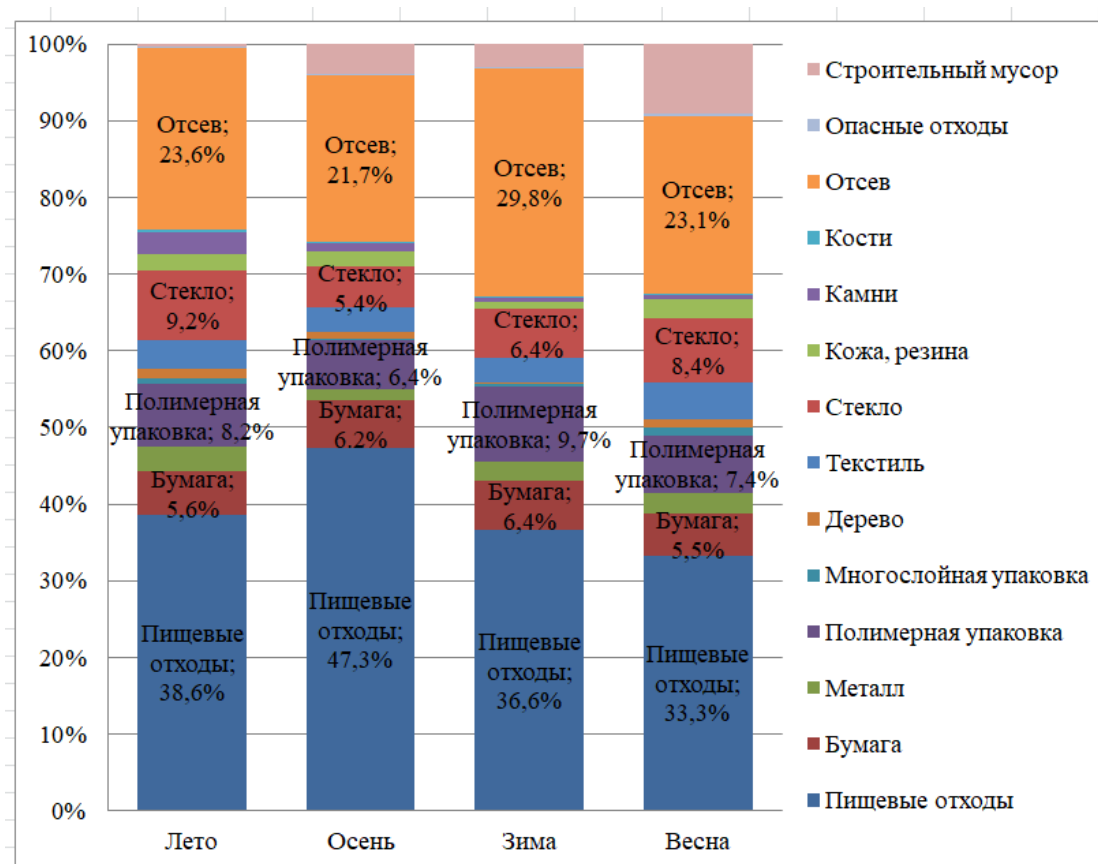


Рисунок 3 Изменение состава отходов в зависимости от сезона года

Так как уровень благосостояния постоянно растёт, происходит и увеличение образующегося мусора. Прирост ТБО связан с рядом факторов и в первую очередь с внутренним валовым продуктом, продолжительностью жизни и активностью насе-

– для городов с очень высоким благосостоянием:

$$ТБО^t = 359,5 + 0,014 \cdot ВВП^t - 197,1 \cdot \log(MC_G^t); \quad (1)$$

– для городов с высоким благосостоянием:

$$ТБО^t = 276,5 + 0,016 \cdot ВВП^t - 126,5 \cdot \log(MC_G^t); \quad (2)$$

– для городов со средним и низким благосостоянием:

$$ТБО^t = -360,7 - 375,6 \cdot \log(MC_e^t) + 8,93H_{ac_{15-59}} - 123,9PC^t + 11,7 \cdot P_p \cdot Ж^t, \quad (3)$$

где $ТБО^t$ — объём образования ТБО на 1 жителя в году t ; $ВВП^t$ — внутренний валовой продукт, \$; MC_G^t — младенческая смертность на 1000 родившихся в городе; $H_{ac_{15-59}}$ — доля населения в трудоспособном возрасте; PC^t — средний размер семьи; $P_p \cdot Ж^t$ — продолжительность жизни.

В отечественной практике в системе управления отходами существует два подхода. В городах-миллионерах используется двух- или трёхстадийная схема, в которой участвуют два или три предприятия. Так, в Харькове сбор и вывоз мусора осуществляет одна организация, а утилизацией занимается другое предприятие — мусороперерабатывающий завод. В меньших по размерам городах весь цикл обращения с отходами осуществляется, как правило, одним спе-

циализированным предприятием. Вопросы прогнозирования образования ТБО нашли своё отражение в зарубежной практике [4] в виде моделей прогнозирования объёмов образования ТБО для различных населённых пунктов:

циализированным предприятием. В настоящее время элементами системы управления бытовыми отходами в Луганске являются: сбор, транспортировка и практически единственный способ утилизации отходов — полигонное захоронение до 99 % всех образующихся в городе твёрдых бытовых отходов. Отходы размещаются на единственном санкционированном полигоне ТБО. Доля перерабатываемых материалов не превышает 1 %. Представляет интерес формирование тарифов на вывоз ТБО в различных городах, от которых зависит как качество оказываемых услуг, так и возможность совершенствования технологий в сфере обращения с отходами. Например, в Луганске существует два тарифа по вывозу мусора: из частного сектора — 10 руб. 80 коп. и 12 руб. 72 коп. из коммунального сектора (рис. 4).



Рисунок 4 Сбор мусора в частном и коммунальном секторах г. Луганска

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

В г. Харькове тариф за вывоз ТБО составляет 31,62 грн. плюс 10,72 грн. за утилизацию, что суммарно составляет примерно 42 грн.

Представляет интерес плата за отходы за рубежом на примере г. Вестервиль, (штат Огайо, США) [5] в сравнении с отечественными тарифами (табл. 2).

Как следует из таблицы, тариф за вывоз мусора в г. Луганске является самым низким из рассмотренных. Скорее всего, данный, ничем не обоснованный тариф можно расценивать как политический для данного периода времени и не позволяющий развиваться отрасли по обращению с отходами. Поэтому до полноценного обоснования тарифа можно по аналогии с другими городами увеличить его в 3 раза, что составит примерно 0,6 % от средней заработной платы. Это позволит предприятию «Луганский центр утилизации отходов» выйти

хотя бы на безубыточный уровень работы. Во всём мире на сегодняшний день используется 22 модели обращения с отходами, но наиболее активно применяются только 6 из них. Их особенность заключается в экономической заинтересованности населения к раздельному сбору мусора. Если проанализировать расшифровку тарифа на мусор в США (табл. 2), то обращает на себя внимание сумма за вывоз мусора в размере 8,55 дол. Именно сокращение доли мусора за счёт отделения вторичных фракций (бумаги, пластика, стекла и т. п.) населением позволяет уменьшить затраты на вывоз. При этом население либо самостоятельно отделяет эти фракции и сдаёт их за деньги в соответствующие компании, либо компании за свой счёт забирают это вторсырьё. Это позволяет в 2–3 раза сократить затраты населения на вывоз мусора (рис. 4).

Таблица 2

Сравнение тарифов по обращению с ТБО в различных городах

Вид обращения с отходами	Тарифы		
	Луганск, руб.	Харьков, грн.	Вестервиль, доллар
Одностадийный (сбор + вывоз + утилизация)	10,80 (частный сектор), 12,72 (коммун. сектор)		
Двухстадийный (сбор + вывоз; утилизация)		31,62 + 10,72 = = 42,34	
Многостадийный с учётом раздельного сбора			8,55 — за вывоз мусора; 2,75 — за разделение на сортировочной станции; 0,75 — за отходы с садовых участков; 0,14 — за крупногабаритный мусор; 1,8 — админ. сбор Σ 14 долларов
Тариф, % от средней зарплаты	0,18–0,2 от 5000 руб.	0,9 от 5000 грн.	0,5 от 2800 дол.



Рисунок 4 Раздельный сбор мусора (в контейнеры или пакеты) и его транспортировка

Наряду с экономическими стимулами раздельному сбору ТБО способствует и многолетнее экологическое воспитание населения совместно с принудительными административными мерами.

Ознакомившись с зарубежным опытом обращения с ТБО, необходимо перенести его на отечественную почву с учётом следующих **выводов**:

1. Уточнить норму накопления отходов в населённых пунктах региона и разработать экономически обоснованные тарифы при обращении с ТБО, позволяющие не только эффективно функционировать специализированным предприятиям, но и развивать новые подходы и технологии в сфере утилизации отходов.

2. Разработать региональный закон по обращению с отходами и концепцию специализированной отрасли по вовлечению отходов в хозяйственный оборот.

3. Стимулировать раздельный сбор ТБО с одновременным созданием сети частных или государственных предприятий по переработке вторичного сырья.

4. Государственные органы Республики должны оказывать содействие и поддержку в развитии новых технологий, создании предприятий и соответствующего нормативно-правового их сопровождения, а также усилить экологическое воспитание населения, основанное на разъяснении, пропаганде и даже принуждении.

Библиографический список

1. Дрозд, Г. Я. Потенциал развития сектора обращения с отходами на Луганщине [Текст] / Г. Я. Дрозд // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — С. 83–98.
2. СНиП 2.07.01-89*. Планировка городских и сельских населённых мест [Текст]. — Введ. 1990–01–01. — М. : Госстрой России, 1989. — 42 с.

3. Об утверждении норм накопления твёрдых бытовых отходов и крупногабаритного мусора : Постановление Правительства Москвы от 15 января 2008 года № 9-ПП [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.recyclers.ru/modules/section/item.phpitemid=143 (05.04.2013).

4. Beigl, P. Forecasting Municipal Solid Waste Generation in Major European Cities [Text] / P. Beigl // VIth International Waste Forum «Efficiency of Waste Management», Lichen Stary. — Poland. — 29 May – 1 June 2005. — P. 10.

5. Ландеховская, М. П. Подходы к организации раздельного сбора отходов у населения [Текст] / М. П. Ландеховская, С. Н. Сидоренко // Вестник РУДН. — 2009. — № 3. — С. 69–71.

© Дрозд Г. Я.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ВТГВ Института строительства, архитектуры и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля Андрійчуком Н. Д., к.т.н., доц., и. о. зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.

Статья поступила в редакцию 08.11.18.

д.т.н. Дрозд Г. Я. (ІБА і ЖКГ ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ В ДОНБАСІ: РЕАЛЬНІСТЬ І ПЕРСПЕКТИВИ

Наведено відомості про якісно-кількісний склад твердих побутових відходів (ТПВ) в Донбасі, основні підходи в сфері поводження з відходами, прогнозування зростання обсягів відходів, уточнення норм накопичення і тарифів на їх видалення. На прикладі зарубіжного досвіду показано економічне стимулювання для роздільного збору відходів з урахуванням ролі екологічного і культурного виховання населення.

Ключові слова: тверді побутові відходи, утилізація, вторинна сировина, роздільний збір ТПВ, культурні аспекти.

Doctor of Tech. Sc. Drozd G. Ya. (IBA and HCS LNU after V. Dahl, Lugansk, LPR, drozd.g@mail.ru)
SOLID WASTES IN THE DONBASS: REALITY AND PROSPECTS

There have been given the data on the qualitative and quantitative composition of municipal solid waste (MSW) in the Donbass, the main approaches in the field of waste management, predicting the growth of waste, refinement of accumulation rates and tariffs for their disposal. Using the example of foreign practice it had been shown the economic incentives for separate waste collection, taking into account the role of environmental and cultural education of the population.

Key words: solid household waste, recycling, secondary raw materials, separate collection of solid wastes, cultural aspects.

УДК 539.3

к.т.н. Бурцев Г. Г.,
Бондарец О. А.
(ЛГАУ, г. Луганск, ЛНР),
Левченко Э. П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА ПРИ ЕГО ПРОСАДКЕ

Приведены результаты моделирования, где рассматривается алгоритм исследования напряжённо-деформированного состояния трубопровода при его просадке, позволяющий учитывать изменения физических и геометрических свойств материалов. Обоснован выбор упрощённой модели бесканального трубопровода.

Ключевые слова: трубопровод, просадка, моделирование, напряжённо-деформированное состояние, бесканальная прокладка, дифференциальные уравнения.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Приоритетным направлением повышения надёжности трубопроводов в грунтах является определение фактической схемы деформации основания.

Расчёт системы «грунт – трубопровод» является весьма сложной задачей строительной механики, так как трубопровод деформируется вместе с окружающим его грунтом. Предлагается упрощённая расчётная схема, использующая концепцию деформируемого основания, в рамках варианта теории толстых неоднородных пластин.

В работах В. К. Чибирякова [1, 2] для совместного расчёта трёхмерной среды с различными упругими включениями, например непосредственно в грунт, в качестве расчётной модели рассматриваемой системы используется концепция толстой пластины. Механическое поведение грунта в работах А. А. Мустафаева [3] моделируется сплошной неоднородной средой. Исследования С. Н. Клепикова [4] показали, что введение переменного коэффициента постели устраняет недостатки модели Фусса – Винклера.

Постановка задачи. Задачей модельных исследований является анализ напряжённо-деформированного состояния трубопровода при его просадке на основании уточнённой расчётной схемы.

Изложение материала и его результаты. Важным резервом снижения материалёмкости при строительстве подземных коммуникаций является их бесканальная прокладка. При такой прокладке трубопроводы одновременно выполняют технологические функции (транспорт жидкости или газа), ограждающие и несущие. Однако расчёт на внутреннее давление не обеспечивает эксплуатационной надёжности, поскольку в процессе эксплуатации трубопровод может подвергаться различным силовым факторам, вызванным в большинстве случаев неравномерными деформациями грунтовой среды.

Особую актуальность эта проблема приобретает при строительстве трубопроводов в лессовых просадочных грунтах. Решение данной задачи требует теоретически обоснованных разработок, достаточно надёжных и удобных в применении методов расчёта подземных коммуникаций, учитывающих совместную их работу с окружающей грунтовой средой. Основным вопросом здесь является выбор расчётной схемы.

Особенностью лессовых просадочных грунтов является значительное изменение механических характеристик в зависимости от влажности. Так, модуль деформации (усреднённая характеристика, играющая роль модуля упругости) таких грунтов при ув-

лажнении уменьшается в несколько раз. Сложность физических явлений, вызывающих просадку, и их нелинейный характер затрудняют математическое описание данного процесса просадки. Кроме того, увлажнение просадочных грунтов в основании подземных трубопроводов является случайным фактором, а расположение источников увлажнения и глубина смачивания грунта могут быть самыми различными. Поэтому определение фактической схемы деформации основания для каждого частного случая затруднительно [5]. В связи с этим целесообразно иметь расчётную схему для общих случаев, которые соответствовали бы характеру деформации лессовых грунтов и самым неблагоприятным условиям увлажнения.

Большая, по сравнению с длинами прямолинейных участков, протяжённость трубопровода с поперечным сечением незначительных размеров позволяет применить для его расчёта стержневую модель. Однако в связи с тем, что трубопровод деформируется совместно с окружающим его грунтом, расчёт системы «грунт – трубопровод» является весьма сложной задачей строительной механики. Обычно при решении подобной задачи переходят к упрощённой расчётной схеме, используя концепцию деформируемого основания. Применение такого подхода позволяет расчленив систему «грунт – трубопровод» и рассмотреть отдельно расчёт только

трубопровода, учитывая в нём интегральные свойства окружающей среды с помощью коэффициентов, характеризующих отпорные свойства основания и нагрузки, отражающей силовое взаимодействие с лежащим выше грунтом.

Правильный выбор этих величин позволяет получить достоверные сведения о работе системы «грунт – трубопровод», но оценить достоверность такого расчёта можно только на основании уточнённой расчётной схемы. Такая расчётная схема может быть выбрана в рамках принятого варианта теории толстых пластин.

Для расчёта системы «грунт – трубопровод» в условиях просадочных грунтов была использована математическая модель, описываемая уравнениями (1) и (2) с учётом неоднородности грунта.

Предполагается, что механическое поведение грунта можно моделировать сплошной упругой неоднородной средой. Данное допущение не является существенным в рамках принятого подхода.

Расчёт по методу установления позволяет учитывать как физическую, так и геометрическую нелинейность.

Напряжённо-деформированное состояние толстой неоднородной пластины с одномерным дискретным включением, находящейся под действием объёмных сил, описывается следующими системами дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} - k_x^r (U_r(x) - U_T(x)) \cdot \delta(y) \cdot \delta(z - z_T) &= \rho \frac{\partial^2 U_r}{\partial \tau^2} + \rho \frac{\partial U_r}{\partial \tau^2}, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} - \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= \rho \frac{\partial^2 U_r}{\partial \tau^2} + \beta \frac{\partial V}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} - k_x^T (\omega_r(x) - \omega_T(x)) \cdot \delta(y) \cdot \delta(z - z_T) + F_z &= \rho \cdot \frac{\partial^2 \omega_r}{\partial \tau^2} + \beta \cdot \frac{\partial \omega_r}{\partial \tau}, \\ \sigma_x &= (\lambda^\circ + 2 \cdot \mu^\circ) \cdot \varphi \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + \lambda^\circ \cdot \varphi \cdot \frac{\partial V}{\partial y} + \varphi \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \\ \sigma_y &= \lambda^\circ \cdot \varphi \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + (\lambda^\circ + 2 \cdot \mu^\circ) \cdot \varphi \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \lambda^\circ \cdot \varphi \cdot \frac{\partial V}{\partial y}, \\ \sigma_y &= \lambda^\circ \cdot \varphi \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + \lambda^\circ \cdot \varphi \cdot \frac{\partial V}{\partial y} + (\lambda^\circ + 2 \cdot \mu^\circ) \cdot \varphi \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}\tau_{xy} &= \mu^{\circ} \cdot \varphi \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + \mu^{\circ} \cdot \varphi \cdot \frac{\partial U}{\partial y}, \\ \tau_{xz} &= \mu^{\circ} \cdot \varphi \cdot \frac{\partial \omega}{\partial x} + \mu^{\circ} \cdot \varphi \cdot \frac{\partial U}{\partial z}, \\ \tau_{yz} &= \mu^{\circ} \cdot \varphi \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} + \mu^{\circ} \cdot \varphi \cdot \frac{\partial V}{\partial z}.\end{aligned}\quad (1)$$

$$\begin{aligned}(EA)_T \cdot \frac{\partial^2 U_T(x)}{\partial x^2} + k_x^T \cdot (U_r(x)) - U_T(x) &= \rho \cdot \frac{\partial^2 U_r(x)}{\partial t^2} + \beta \cdot \frac{\partial U_r(x)}{\partial t}, \\ (EA)_T \cdot \frac{\partial^4 \omega_T(x)}{\partial x^4} + k_x^T \cdot (\omega_r(x)) - \omega_T(x) &= \rho \cdot \frac{\partial^2 \omega_r(x)}{\partial t^2} + \beta \cdot \frac{\partial \omega_r(x)}{\partial t},\end{aligned}\quad (2)$$

где U_T и ω_T — перемещения трубопровода; k_x^T и k_z^T — коэффициенты жёсткости стержней, связывающих грунт и трубопровод; E_T , A_T и J_T — модули упругости, площадь сечения и момент инерции и трубопровода; $\delta(y)$ и $\delta(z-z_T)$ — двумерная дельта-функция Дирака, сосредоточенная в точке (y_T, z_T) .

Упрощённую схему просадки с позиций механики сплошной среды можно описать следующим образом. В начальный момент времени грунт находится в состоянии естественной влажности. При этом предполагается, что грунтовая среда находится в равновесии под действием объёмных сил, вызванным весом грунта.

В результате замачивания некоторого объёма грунта в этом объёме изменяются физические свойства, в частности уменьшается модуль деформации, грунт становится неоднородным, и поэтому нарушается равновесие всей среды.

Предполагая, что объём увлажнённого грунта известен (из решения задачи фильтрации или по результатам экспериментальных исследований), процесс просадки моделируем процессом деформирования упругого слоя толщиной h , покоящегося на подстилающем водонепроницаемом грунте, взаимодействие с которым учитывается по модели Фусса – Винклера.

При расчёте по предлагаемому методу реакция окружающей среды на трубопровод вычисляется интегрально, что сглаживает локальные эффекты. И поэтому если не учитывать поведение толщии грунта в

окрестности трубопровода, а ориентироваться только на определение напряжённо-деформированного состояния последнего, то даже простейшая модель грунтовой толщины как сплошной упругой неоднородной среды может привести к удовлетворительным результатам [6].

Известно, что основным недостатком модели Фаусса – Винклера является отсутствие в ней распределённой способности грунта, а также постоянство коэффициента постели для каждого вида основания и его нагружения [6, 7].

Однако, как показали опыты и натурные наблюдения, при увлажнении лессовых грунтов просадка происходит в основном в несущем столбе грунта, а за его пределами деформация основания, как правило, незначительна. Поэтому распределительная способность увлажнённых просадочных грунтов более низкая, чем у естественных оснований.

Таким образом, оставляя в этой модели линейную зависимость между реактивным давлением грунта и его осадкой, коэффициент постели принимаем переменным.

Как выявили исследования С. Н. Клепикова [4], введение переменного коэффициента постели устраняет недостатки модели Фусса – Винклера.

Предполагается, что трубопровод, расчётной моделью которого является прямолинейный стержень, работающий на изгиб, взаимодействует со средой, модель деформации которой E_I . В результате замачивания определённого объёма грунта модуль

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

деформации в этом объёме изменяется и становится равным E_2 . Вследствие этого нарушается равновесие рассматриваемой системы, происходит деформирование грунта (просадка), при этом деформируется и связанный с грунтом трубопровод.

В расчёте также учитываются перемещения трубопровода в горизонтальном на-

правлении. В зависимости от глубины заложения они могут быть равны нулю или направлены как в сторону источника воздействия, так и в противоположную сторону. Для расчёта выделена конечная часть системы «грунт – трубопровод» в виде прямоугольного параллелепипеда с упругим одномерным включением (рис. 1–3).

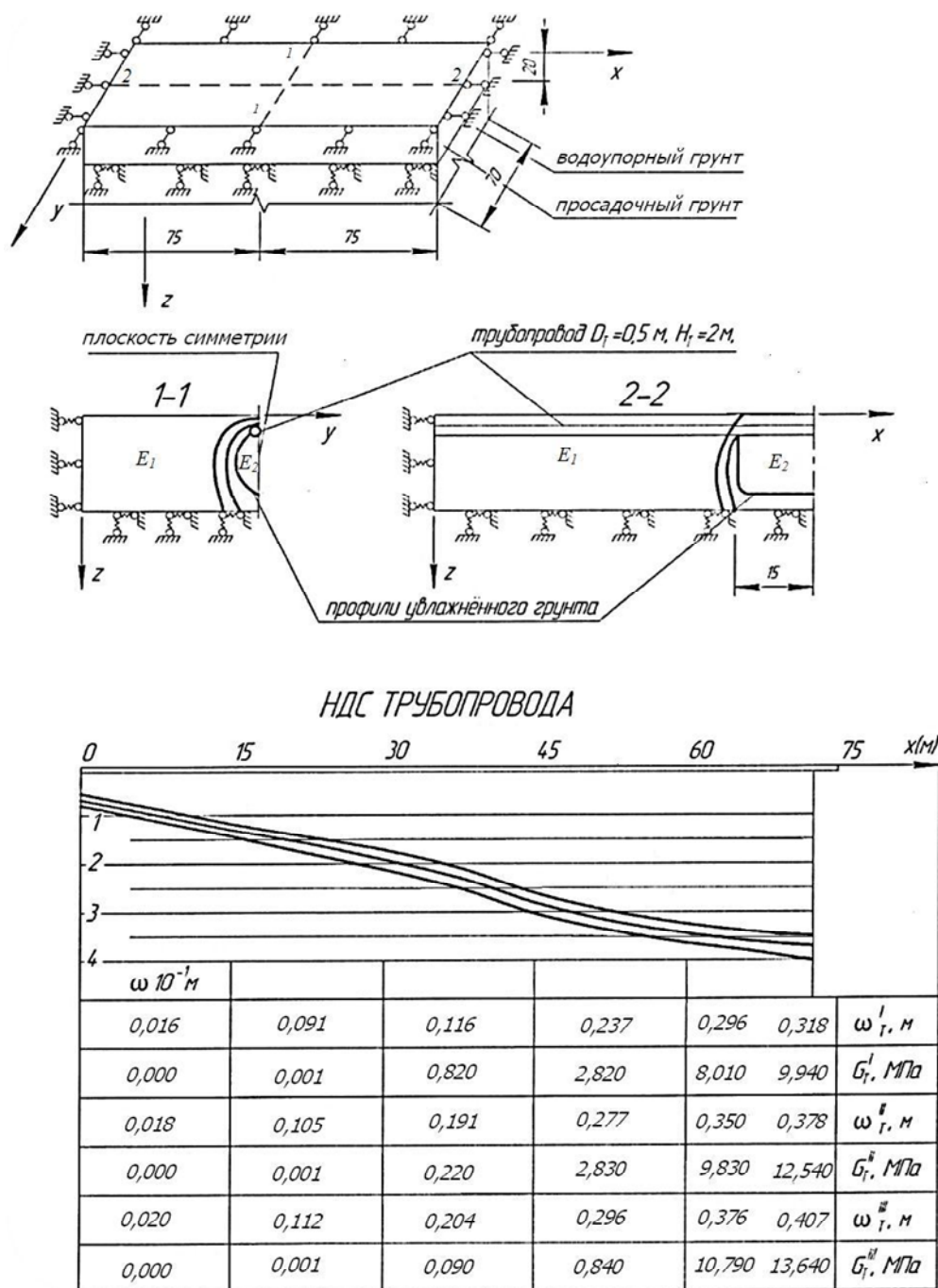


Рисунок 1 Система «грунт – трубопровод»

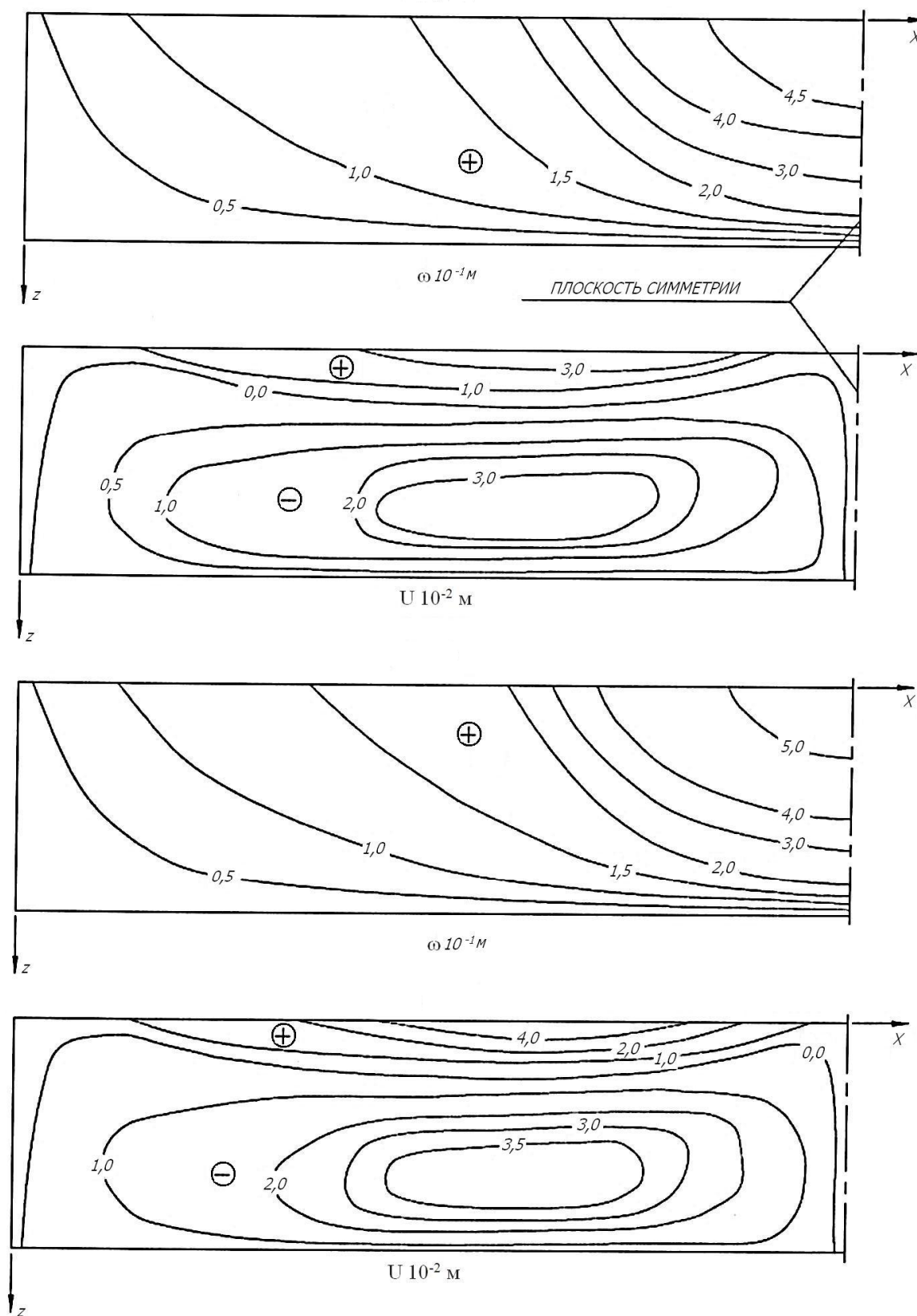
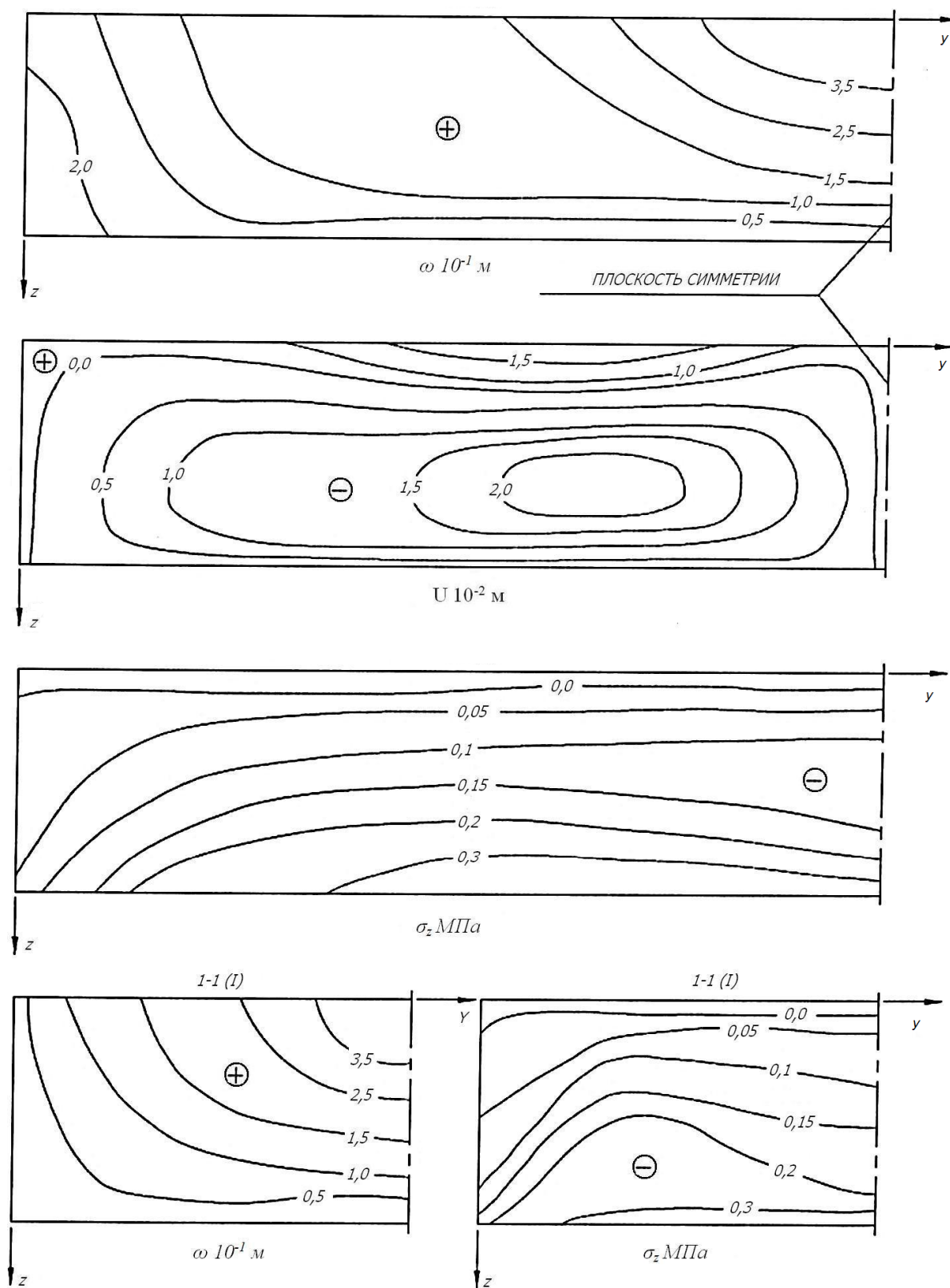


Рисунок 2 Напряжённо-деформированное состояние в грунтовой толще по осям x ; z

Рисунок 3 Напряженно-деформированное состояние в грунтовой толще по осям y ; z

Размеры параллелепипеда в плане приняты такими, чтобы на его границе влияние просадки было незначительным. Здесь $E_1=20$ МПа, $E_2=4$ МПа.

На нижней боковой поверхности $z=h^+$ значение коэффициентов жёсткости соответственно равно $k_x^+ = k_y^+ = k_z^+ = 10$ МПа/м.

Диаметр трубопровода $d=0,5$ м; толщина стенки $\delta=0,012$ м; модуль упругости $E_T=2 \cdot 10^5$ МПа; глубина заложения в грунт $h_T=2$ м.

Таким образом, разработанная модель учитывает внутреннее давление, передаваемое трубопроводу при его эксплуатации, что позволяет более полно оценить многообразные факторы, влияющие на его работу, а также силовые особенности поведения грунта, тем самым существенно повысив надёжность бесканальной прокладки при эксплуатации.

Приведённый подход позволяет снизить затраты материальных ресурсов и повы-

сить надёжность эксплуатации аналогичных систем в сложных условиях, в том числе в лессовых просадочных грунтах.

Выводы и направление дальнейших исследований. С использованием метода установления определено напряжённо-деформированное состояние трубопровода для трёх состояний, характеризующих развитие процесса замачивания (рис. 1–3). Полученные результаты позволили обосновать выбор упрощённой модели бесканального трубопровода. Приведённые на рисунках 2 и 3 данные о напряжённо-деформированном состоянии в грунтовой толще носят иллюстративный характер. Они показывают, что для заданной модели деформирования грунта предлагаемый в настоящей работе подход может дать представление о его напряжённо-деформированном состоянии (в рамках принятой модели).

Библиографический список

1. Чибириков, В. К. Уравнения напряжённо-деформированного состояния толстых плит несимметричной структуры [Текст] / В. К. Чибириков // Сопротивление материалов и теория сооружений. — 1978. — Вып. 32. — С. 82–87.
2. Чибириков, В. К. Метод установления в задачах статики и квазистатической термоупругости толстых пластин [Текст] / В. К. Чибириков, Г. Г. Бурцев. — К. : Киевский инж.-строит. ин-т, 1987. — 29 с. — (Деп. в УкрНИИТИ 17.03.87г., № 1247-Ук 87).
3. Мустафаев, А. А. Основы механики просадочных грунтов [Текст] / А. А. Мустафаев. — М. : Стройиздат, 1978. — 296 с.
4. Клепиков, С. Н. Расчёт сооружений на деформируемом основании [Текст] / С. Н. Клепиков. — К. : НИИСК, 1996. — 202 с.
5. Рихтмайер, Р. Разностные методы решения краевых задач [Текст] / Р. Рихтмайер, К. Мортон. — М. : Мир, 1972. — 418 с.
6. Тимошенко, С. П. Теория упругости [Текст] / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. — М. : Наука, 1979. — 560 с.
7. Самарский, А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. — М. : Наука, 1986. — 616 с.

© Бурцев Г. Г.

© Бондарец О. А.

© Левченко Э. П.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.,
к.т.н., проф., зав. каф. ЗСАиГ ЛНАУ Розулиным В. В.**

Статья поступила в редакцию 14.11.18.

к.т.н. Бурцев Г. Г., Бондарець О. А. (ЛНАУ, м. Луганськ, ЛНР), к.т.н. Левченко Е. П. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРУБОПРОВОДУ ПРИ ЙОГО ПРОСІДАННІ

Наведено результати моделювання, де розглядається алгоритм дослідження напружено-деформованого стану трубопроводу при його просіданні, що дозволяє враховувати зміни фізичних і геометричних властивостей матеріалів. Обґрунтовано вибір спрощеної моделі безканального трубопроводу.

Ключові слова: трубопровід, просідання, моделювання, напружено-деформований стан, безканальна прокладка, диференціальні рівняння.

PhD Burtsev G. G., Bondarets O. A. (LNAU, Lugansk, LPR), PhD Levchenko E. P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE PIPELINE DURING ITS DRAWDOWN

The modeling results are presented, where the algorithm for studying the stress-strain state of the pipeline during its drawdown is considered, allowing to take into account changes in the physical and geometric properties of materials. The choice of the simplified model of channel-free pipeline is justified.

Key words: pipeline, subsidence, modeling, stress-strain state, channel-free gasket, differential equations.

**МАШИНОСТРОЕНИЕ
И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**МАШИНОБУДУВАННЯ
ТА МАШИНОЗНАВСТВО**

**MECHANICAL ENGINEERING
AND MACHINE SCIENCE**

УДК 621.313

д.т.н. Сидоров В. А.,
к.т.н. Ошовская Е. В.,
Шамрай Ю. А.,
Якимова А. В.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ РИСКА ОТКАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Описана проблема получения достоверной информации для оценки риска как основного параметра, управляющего деятельностью ремонтной службы при реализации современной стратегии технического обслуживания и ремонта механического оборудования металлургических предприятий. Показаны пути повышения информативности при анализе рисков отказов на примере скипового подъёмника.

Ключевые слова: механическое оборудование, отказ, анализ рисков, техническое обслуживание, ремонт, скиповый подъёмник.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Современная стратегия технического обслуживания и ремонтов оборудования использует концепцию «приемлемого риска». Данная концепция в своей основе опирается на оценки рисков, применяемые для управления деятельностью ремонтных служб [1, 2, 3]. Чаще всего риск трактуется как произведение вероятности возникновения нежелательного события (отказ, авария) и вреда от его последствий. Группа стандартов по оценке рисков и надёжности технологического оборудования [4–10] предлагает рассматривать промышленный объект в аспектах качественного и количественного анализа возникновения отказов, используя статистическую информацию о надёжности отдельных элементов. При этом исходная информация представляется в виде известных значений вероятностей безотказной работы или интенсивностей отказов элементов, для нахождения которых в стандартах рекомендуется применять статистические методы.

Такой подход использован в работе [11] для оценки риска возникновения инцидентов и аварийных ситуаций в доменном производстве. На основе анализа статистических данных и применении теории массового обслуживания авторами иден-

тифицированы возникающие инциденты и аварийные ситуации, сопоставлены теоретические и эмпирические закономерности распределения периодичности появления инцидентов и длительности их ликвидации, рассчитаны вероятности возникновения инцидентов и аварийных ситуаций.

В работе [12] описана прикладная компьютерная программа для расчёта показателей надёжности металлургического оборудования и производственного риска в металлургической отрасли. Расчёты выполняются на основе математической модели, которая использует статистическую базу произошедших отказов, вызванных «техническими» (объективными) и «личностными» (субъективными) причинами.

Постановка задачи. Оценка рисков на основании статистических данных о зафиксированных отказах оборудования хорошо иллюстрирует прошедший период эксплуатации и технического обслуживания, но не позволяет получить достоверную информацию для выполнения ремонтной службой конкретных действий в данный момент времени.

В статье рассмотрены причины этой проблемы и предложены возможные пути повышения информативности при анализе рисков на примере элементов скипового подъёмника доменной печи.

Изложение материала и его результаты. Сложности, связанные с использованием вероятностного подхода при оценке рисков, вызваны следующими причинами.

Для металлургического оборудования, представляющего собой единичные, уникальные машины, функционирующие в переменных режимах нагружения и условиях окружающей среды, накопление достаточно большого количества статистических данных об отказах отдельных элементов требует длительного периода наблюдения. Достоверность устанавливаемых вероятностных характеристик проявления отказов и вычисляемых показателей безотказности, определяемая по малым выборкам статистических данных, будет невысока.

Увеличение количества данных об отказах однотипного оборудования возможно за счёт обмена сведениями между разными металлургическими предприятиями, однако в настоящее время эта практика практически отсутствует из-за современных требований о соблюдении коммерческой тайны, неразглашении информации об особенностях проявления и ликвидации отказов оборудования.

Кроме вероятности возникновения отказа или аварийной ситуации при оценке риска необходима информация о возможных потерях предприятия, вызванных их устранением. Уровень потерь также обусловлен многими факторами и может значительно различаться даже при устранении подобных отказов.

Затраты на ликвидацию внезапных отказов оборудования зависят от подготовленности ремонтной службы, длительности проведения ремонта и потерь производства из-за снижения объёма выпускаемой продукции. Если продолжительность ремонта может быть определена по нормативам проведения ремонтных работ, а потери производства найдены произведением времени простоя и среднего показателя производительности металлургического агрегата, то фактор подготовленности ремонтной службы оценить затруднительно. Данный фактор увеличивает время про-

стоя оборудования при ликвидации внезапного отказа из-за:

- отсутствия необходимых запасных частей и приспособлений;
- отсутствия чёткого регламента действий в критических ситуациях;
- отсутствия опыта и навыков ликвидации таких отказов.

Указанные причины усугубляются тенденциями сокращения объёмов неснижаемого запаса элементов оборудования, нарушением преемственности передачи опыта в ремонтных службах предприятий из-за текучести кадров. Кроме того, качество ремонта, связанного с устранением внезапного отказа и выполненного в сжатые сроки, приводит к его повторению через короткое время.

Большинство металлургических машин представляет собой восстанавливаемые динамические системы разноресурсных элементов, для которых в качестве целевой функции анализа рисков с последующим управлением деятельностью ремонтной службы можно предложить следующее условие. Деграция внутренних свойств (технического состояния) деталей C под влиянием внешних воздействий B , возникающих при выполнении производственной программы, должна компенсироваться проведением технического обслуживания и ремонта (TP):

$$B \rightarrow C \leftarrow TP.$$

Несоблюдение данного требования приводит к появлению рисков внеплановых отказов и аварий.

Проведение текущих и капитальных ремонтов, связанных с заменой узлов и деталей, вызывает изменение исходного состояния деталей C и закономерностей развития повреждений, во многом определяемых качеством проводимых ремонтов. Замена деталей, выполненная после отказа, также формирует новые условия развития повреждений. Дополнительно меняется характер взаимного влияния узлов. Эти факторы позволяют выделить период между капитальными ремонтами оборудования как временной интервал для эффективного накопления ин-

формации об отказах при анализе рисков. Достоверность анализа обеспечивается одновременным рассмотрением данных о: производственной программе и внешних воздействиях, количестве установленных деталей, техническом обслуживании и проведённых ремонтах. Кроме того, для повышения информативности анализа рисков и выявления последствий отказов следует использовать имитационное моделирование поведения оборудования при возникновении и развитии различных повреждений деталей.

Некоторые аспекты такого подхода к оценке рисков далее рассмотрены на примере скипового подъёмника доменной печи, который можно считать типичной металлургической машиной, что позволяет распространить предлагаемый подход на всё механическое оборудование металлургических предприятий.

Скиповый подъёмник (рис. 1) является сложным объектом, в структуре которого сочетаются разноплановые с точки зрения развития отказов элементы: наклонный мост, скипы, канат, блоки, лебёдка. Решётчатый наклонный мост опирается на стенку скиповой ямы и на пилон. На наклонном мосту смонтированы площадки для направляющих блоков скиповых канатов и канатов лебёдок для маневрирования конусами. На нижнем поясе моста уложен рельсовый путь, который переходит в разгрузочные кривые. Верхняя часть моста, выполненная консольно, заканчивается над приёмной воронкой дополнительными разгрузочными рельсами.

Анализ информации о происходивших отказах и авариях, проведённый на основании работ [13, 14] и опыта эксплуатации скиповых подъёмников доменных печей металлургических предприятий Донбасса, позволил выделить типовые ситуации, вызвавшие значительные потери производства. Данные ситуации могут выступать в качестве заданий для имитационного моделирования:

1. Посадка скипа на просыпь шихты в скиповой яме приводит к увеличению динамической составляющей в канате в начале подъёма.

2. Наезд скипа на упор, при этом инертность привода не позволяет эффективно защитить электромеханическую систему от перегрузки, что вызывает обрыв каната.

3. Остановка блоков в фиксированных положениях приводит к появлению дисбаланса, возникновению вибраций, ослаблению резьбовых соединений крепления и заканчивается усталостным разрушением оси блока.

4. Нарушения режимов смазывания подшипниковых узлов блоков, лебёдки и скипов под влиянием сезонных изменений температуры окружающей среды, вызывающие увеличение коэффициента трения и момента сопротивления, что приводит к изменению характера механического износа.

5. Абразивный износ канатов, их неравномерная вытяжка, приводящая к нарушению правильного функционирования рычажного выравнивающего устройства. В этом случае нагрузка от скипа воспринимается одним канатом, что наиболее часто приводит к сходу скипа с рельсов.

6. Длительная нагрузка от периодического температурного воздействия, возникающих при вращении блоков колебаний, вибрация при прохождении скипов приводят к ослаблению резьбовых соединений в решётчатой конструкции наклонного моста. В свою очередь, это становится причиной повышенных колебаний моста и вызывает разрушение его элементов.

Имитационная модель для каждой ситуации должна учитывать параметры, описывающие эксплуатационные воздействия на детали:

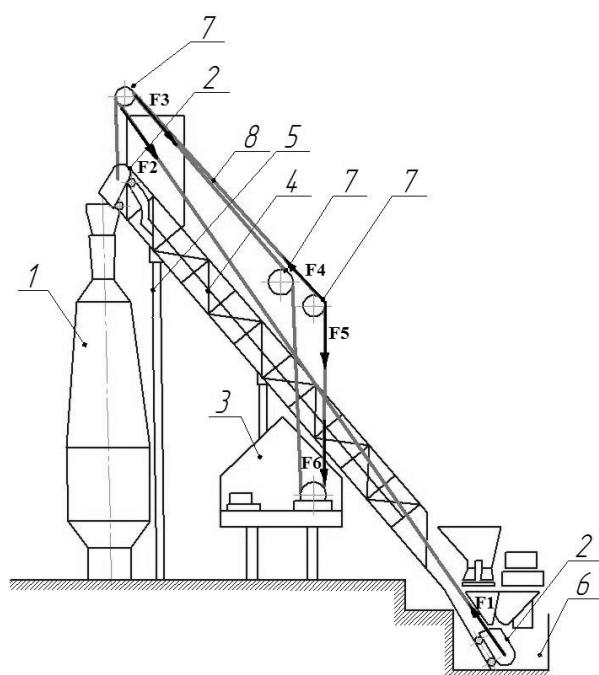
- силовое воздействие — статическое, динамическое, постоянное, переменное, периодическое и др.;

- частота вращения или скорость движения исполнительных органов;

- температурное воздействие — постоянное, переменное и др.;

- воздействие окружающей среды — коррозия, наличие абразива и др.;

- характер трения и вида механического износа как следствия.



Обозначения: 1 — доменная печь; 2 — скип;
3 — машинный зал со скиповой лебедкой;
4 — наклонный мост; 5 — колонны;
6 — скиповая яма; 7 — блоки; 8 — канат

Рисунок 1 Скиповый подъёмник

Например, для ситуации 4 указанные параметры можно представить в виде таблицы 1, в которой приводятся эксплуатационные воздействия на подшипники основных элементов скипового подъёмника при выполнении одного цикла (подъём агломерата).

Данные параметры являются исходными для расчёта теоретической долговечности подшипников, являющегося основой имитационной модели, которая укажет на различный ресурс этих объектов. Модель также должна учитывать, что изменение взаимодействия элементов в процессе эксплуатации приводит к изменению значения действующих сил. Например, действие осевой нагрузки на сферические роликоподшипники приводит к перераспределению нагрузки и работе одного ряда роликов, что снижает ресурс подшипника в $2^{3,3} = 9,85$ раза. Нарушение в распределении нагрузки между подшипниками скатов скипов может увеличить нагрузку на подшипник от $F_1/4$ до $F_1/2$. Этот факт позволяет определить вероятность отказа подшипника по несущей способности и оценить возможный риск рассматриваемой ситуации.

Разработка имитационной модели обязательно включает этап проверки её адекватности, для выполнения которого можно использовать данные измерения или диагностирования на реальном объекте. Так, в случае модели для ситуации 6 проверку можно произвести с помощью результатов измерения виброскорости на металлоконструкции наклонного моста (табл. 2). Точки измерения вибрации приведены на рисунке 2.

Таблица 1

Эксплуатационные воздействия на подшипники скипового подъёмника

Объект	Эксплуатационные воздействия				
	Нагрузка*, Н	Частота вращения, об/мин.	Температура, °С	Окружающая среда	Характер трения, вид износа
Подшипники лебёдки	$F_6/2$	n_6	T_6	Машинный зал	Трение качения, пластичная смазка, граничное трение, окислительный износ, абразивный износ и др.
Подшипники отклоняющего блока	$(F_4+F_5)/2$	$n_{6л1}$	$T_{6л1}$	Атмосфера доменного цеха	
Подшипники верхнего блока	$(F_2+F_3)/2$	$n_{6л2}$	$T_{6л2}$		
Подшипники скипа	$F_1/4$	$n_{ск}$	$T_{ск}$		

* F_i — усилие, возникающее в канате в соответствующей точке (рис. 1).

Таблица 2
Среднеквадратичное значение (СКЗ)
виброскорости

Точка измерения	СКЗ виброскорости, мм/с
41,0 м	3,8...5,3
17,5 м	3,8...5,1
8,4 м	11,0...13,3

Измерения проводились при наличии ослаблений резьбовых соединений между элементами металлоконструкций и уменьшении сечения балок из-за коррозии на участке разгона скипа (отметка 8,4 м). Влияние этих факторов проявилось в значениях виброскорости на отметке 8,4 м, которые в 2...3 раза превысили значения виброскорости на отметках 41 и 17,5 м.

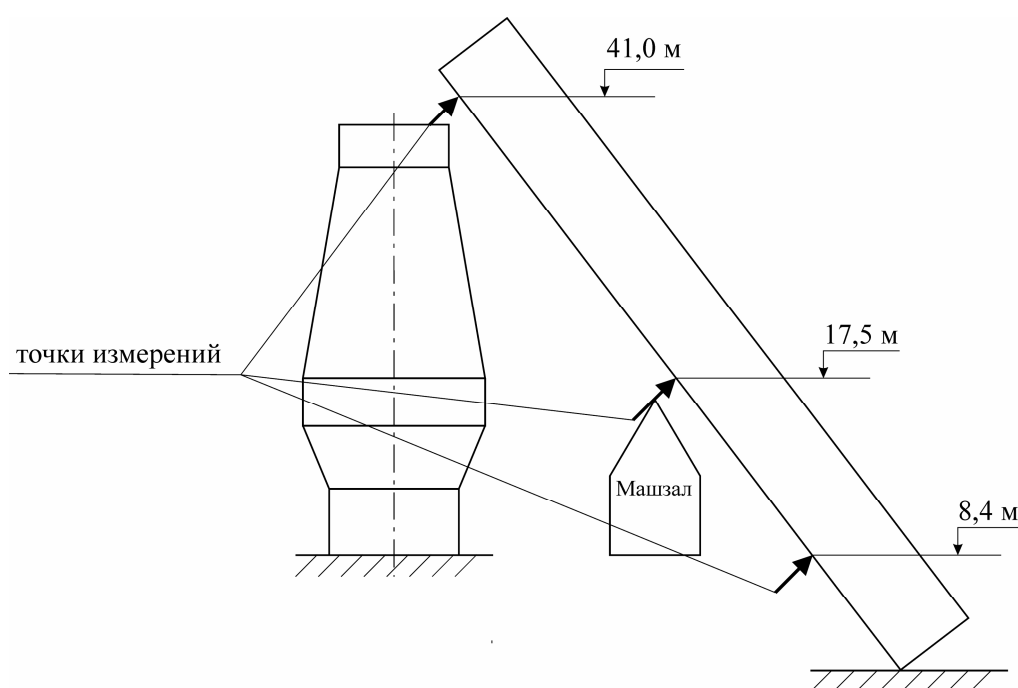


Рисунок 2 Расположение контрольных точек измерения вибрации

Таким образом, с помощью имитационного моделирования неисправностей оборудования представляется возможным получить оценки рисков вызываемых ими аварийных ситуаций.

Полученные расчётные значения рисков наряду с показателями надёжности, определёнными статистическими методами, диаграммами Парето, деревьями отказов, позволяют установить приоритеты между элементами оборудования и составляют первичную информацию для планирования их технического обслуживания и ремонтов. Для уточнения планируемых действий ремонтной службы следует проводить осмотры оборудования и контролировать наиболее информативные параметры, отражаю-

щие его работоспособность. Эту необходимость можно обосновать законом Хенриха, согласно которому на каждый несчастный случай на рабочем месте с тяжкими последствиями приходится 29 случаев получения лёгких травм и 300 потенциально опасных событий без последствий. Используя аналогии, можно продолжить: 3000 отказов и 30000 отклонений параметров от нормативных значений. То есть, благодаря раннему выявлению отклонений от работоспособного состояния при осмотрах имеется возможность снизить риски развития и реализации аварийных ситуаций.

Оперативными источниками информации о нарушениях в функционировании машин и риске возникновения аварийной

ситуации могут выступать токовые и частотные характеристики двигателей. На рисунке 3 приведён типичный вид этих параметров для двигателей скиповой лебёдки. Отклонения, замеченные при реализации определённого цикла подъёма скипа, служат основанием для проведения внепланового осмотра подъёмника.

В качестве факторов, обеспечивающих и отражающих работоспособность деталей и узлов машин, следует, в соответствии с [15], использовать: состояние неподвижных соединений, вид трения, взаимное расположение деталей, характер распределения сил, накопление усталостных повреждений. Для каждого из факторов, исходя из необходимости проведения ремонта, определены уровни: исправного состояния, малых отклонений, необходимости проведения ремонтных воздействий и предостказный. Уровни установлены по изменениям процессов износа и параметров взаимодействия элементов. Границы уровней разделяют границы естественно-го и патологического старения.

Для конкретного элемента оборудования на основании предложенной классификации формируется матрица снижения работоспособности (табл. 3), с помощью которой по результатам осмотров выполняется корректировка рассчитанной оценки риска.

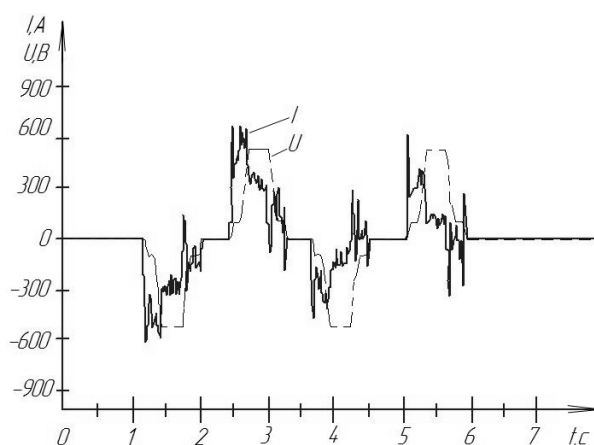


Рисунок 3 Пример токовой характеристики двигателя скиповой лебёдки при реализации цикла подъёма агломерата

Таблица 3

Матрица снижения работоспособности элемента оборудования (%)

Уровень состояния	Факторы работоспособности				
	Состояние неподвижных соединений	Вид трения	Характер распределения сил	Взаимное расположение деталей	Накопление усталостных повреждений
Исправное состояние	0	0	0	0	0
Малые отклонения	20	20	20	20	20
Проведение ремонтных воздействий	80	80	80	80	80
Предостказный	100	100	100	100	100

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, для механического оборудования металлургических предприятий риск, связанный с отказами и аварийными ситуациями, предлагается рассматривать как возможный сценарий развития событий с известными последствиями.

Повышение информативности при анализе рисков, оценки которых опираются на статистические методы, достигается применением имитационного моделирования аварийных ситуаций и неисправных состояний оборудования, разработкой и реализацией разноуровневых карт осмотров с составлением матриц снижения работоспособности.

Получаемые данные следует использовать для определения приоритетности оборудования при планировании ремонтов.

Библиографический список

1. Ключев, В. В. Подходы к построению систем оценки остаточного ресурса технических объектов [Текст] / В. В. Ключев, А. С. Фурсов, М. В. Филинов // Контроль. Диагностика. — 2007. — № 3. — С. 18–23.
2. Касьянов, Н. А. Исследование риск-ориентированного подхода в системе управления охраной труда (СУОТ) машиностроительного предприятия [Текст] / Н. А. Касьянов [и др.] // Вестник Кременчугского гос. политехн. ун-та. — 2009. — Вып. 4/2009 (57). Ч. 2. — С. 75–77.
3. Белодеденко, С. В. Методы количественного риск-анализа и безопасность механических систем [Текст] / С. В. Белодеденко, Г. Н. Биличенко // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2015. — № 7. — С. 2–9.
4. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надёжностью. Анализ риска технологических систем [Текст]. — Введ. 2003-01-03. — Москва : Стандартинформ, 2003. — 24 с.
5. ГОСТ Р 51901.1-2002 (МЭК 60300-3-9:1995). Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Текст]. — Введ. 2009-01-04. — Москва : Стандартинформ, 2003. — 36 с.
6. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надёжности [Текст]. — Введ. 2005-01-02. — Москва : Стандартинформ, 2005. — 45 с.
7. ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001). Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство [Текст]. — Введ. 2005-01-06. — Москва : Стандартинформ, 2005. — 42 с.
8. ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990). Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей [Текст]. — Введ. 2005-01-06. — Москва : Стандартинформ, 2005. — 12 с.
9. ГОСТ Р 51901.14-2005 (МЭК 61078:1991). Менеджмент риска. Метод структурной схемы надёжности [Текст]. — Введ. 2005-01-07. — Москва : Стандартинформ, 2005. — 18 с.
10. ГОСТ Р 51901.15-2005 (МЭК 61165:1995). Менеджмент риска. Применение марковских процессов [Текст]. — Введ. 2005-01-06. — Москва : Стандартинформ, 2005. — 18 с.
11. Тубольцев, Л. Г. Вероятностная оценка риска возникновения аварийных ситуаций и инцидентов на примере доменного производства [Текст] / Л. Г. Тубольцев, Г. Н. Голубых, С. П. Суцев, В. В. Блинные // Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии : сборник науч. тр. — Днепропетровск : ИЧМ НАН Украины, 2010. — Вып. 21. — С. 341–352.
12. Вишневский, Д. А. Компьютерная программа для расчёта надёжности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли [Текст] / Д. А. Вишневский // Инновационные перспективы Донбасса. Т. 3 : Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — Донецк : ДонНТУ, 2018. — С. 114–119.
13. Жеребин, Б. Н. Неполадки и аварии в работе доменных печей [Текст] / Б. Н. Жеребин, А. Е. Пареньков. — Новокузнецк, 2001. — 275 с.
14. Борисенко, В. Ф. Электромеханические системы транспортирующих механизмов [Текст] / В. Ф. Борисенко, А. А. Чепак, В. А. Сидоров и др.; под общ. ред. В. Ф. Борисенко. — Донецк : «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. — 332 с.
15. Сидоров, В. А. Изменение работоспособности механического оборудования как восстанавливаемой системы [Текст] / В. А. Сидоров // Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики : материалы 17 межд. конф., 5–9 октября 2009 г., Ялта. — Киев : УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», 2009. — С. 21–23.

© Сидоров В. А.
 © Ошовская Е. В.
 © Шамрай Ю. А.
 © Якимова А. В.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.,
 к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.**

Статья поступила в редакцию 12.10.18.

д.т.н. Сидоров В. А., к.т.н. Ошовська О. В., Шамрай Ю. О., Якімова А. В. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ПРИ АНАЛІЗІ РИЗИКУ ВІДМОВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Описано проблему отримання достовірної інформації для оцінювання ризику як основного параметра, що керує діяльністю ремонтної служби при реалізації сучасної стратегії технічного обслуговування і ремонту механічного обладнання металургійних підприємств. Показано шляхи підвищення інформативності при аналізі ризиків відмов на прикладі скіпового підйомника.

Ключові слова: механічне обладнання, відмова, аналіз ризиків, технічне обслуговування, ремонт, скіповий підйомник.

Doctor of Tech. Sc. Sidorov V. A., PhD Oshovskaya E. V., Shamray Yu. A., Yakimova A. V. (DonNTU, Donetsk, DPR)

INCREASE OF INFORMATIVITY IN THE RISK ANALYSIS OF FAILURES OF METALLURGICAL EQUIPMENT

The problem of obtaining the reliable information to assess the risk as the main control parameter of the repair service activity in the implementation of a modern strategy of the maintenance and repair of mechanical equipment of metallurgical enterprises is described. There have been shown the ways to increase the informativity while analyzing the risks of failure on the example of a skip hoist.

Key words: mechanical equipment, failure, risk analysis, maintenance, repair, skip hoist.

УДК 622.53.004

д.т.н. Малеев В. Б.,
Кудрявцев А. А.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫМ ЭРЛИФТНЫМ ГИДРОПОДЪЁМОМ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В зависимости от условий работы добычной установки определены критерии: управления запуском, штатным и аварийным остановом эрлифта; регулирования расхода гидросмеси, её концентраций; управления оптимальным режимом подъёма.

Ключевые слова: эрлифт, гидросмесь, гидроподъём, режимы работы эрлифта, оптимальное управление.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В технологическом процессе добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов эрлифтный гидроподъём твёрдого выполняет роль транспортного звена, связывающего добычные работы с доставкой сырья к потребителю.

Эрлифтный гидроподъём, представляющий собой сложный объект управления и контроля, характеризуется следующими особенностями: широким спектром возмущений; распределённостью и удалённостью точек контроля и узлов управления от пульта управления; неконтролируемостью ряда факторов и большими запаздываниями в каналах измерения и управления.

При этом следует отметить, что управление эрлифтной установкой по подъёму гидросмеси в основном определяется путём изменения подачи сжатого воздуха в смеситель. Необходимо обеспечить следующие режимы рабочего процесса установки: управление запуском эрлифта; управление штатным и аварийным остановом эрлифта; регулирование расхода и концентрации гидросмеси; оптимальное управление режимом гидравлического подъёма полезного ископаемого при минимальных энергозатратах.

Всё вышеприведённое определяет значимость разработки системы управления эрлифтной установки по подъёму твёрдого.

Анализ исследований и публикаций. Ранее авторами показано, что начальным звеном в технологической цепочке добычи

полезных ископаемых со дна морей и океанов являются процессы сбора железномарганцевых конкреций (ЖМК), их отмыва от ила и перекачки от агрегата сбора до бункера. Определены критерии управления этими взаимосвязанными процессами с точки зрения эффективности функционирования всей добывающей установки. В этой работе не рассмотрены непосредственно вопросы управления подъёмом твёрдого эрлифтной установкой.

В работе [1] разработаны алгоритмы запуска и останова глубоководного эрлифта, комплексно описывающие переходные режимы в элементах гидроподъёма. Предложенный способ обладает надёжностью и эффективностью в сложных условиях больших глубин. Однако для глубоководного эрлифтного гидроподъёма (ГЭГ) не определены критерии управления запуском и остановом эрлифта, отклонения текущих значений расхода гидросмеси и концентрации твёрдого от заданных.

Постановка задачи. В работе впервые делается попытка аналитически найти количественный критерий управления запуском и остановом эрлифта, критерий минимальной мощности привода компрессорной станции при заданной производительности по твёрдому с целью минимизации энергозатрат на подъём заданного количества ЖМК.

Изложение материала и его результаты. Состояние автоматизированного управления эрлифтным гидравлическим подъёмом

можно контролировать следующими параметрами: мощностью, потребляемой приводом компрессорной станции; объёмным расходом воздуха на выходе из компрессорной станции, приведённым к нормальным условиям; давлением воздуха на выходе компрессорной станции; объёмным расходом воздуха на входе в смеситель, приведённым к нормальным условиям; давлением воздуха на входе в смеситель; объёмным расходом гидросмеси в подающем (подводящем) трубопроводе и плотностью гидросмеси в трубопроводе после дозатора и в других контрольных точках трубопровода.

В соответствии с [1], запуск эрлифтной установки в работу осуществляется в следующей последовательности:

- открывается продувочный вентиль с выходом воздуха в атмосферу;
- запускаются последовательно в работу компрессоры станции сжатого воздуха;
- после выхода компрессоров на рабочий режим закрывается продувочный вентиль. Воздух под давлением поступает в воздухопровод, вытесняя воду через смеситель эрлифта в подъёмный трубопровод. Для сокращения времени вытеснения воды из воздухопровода увеличивается производительность компрессорной станции путём выдачи задания на максимально допустимый расход воздуха;
- после вытеснения воды из воздухопровода и прорыва воздуха в подъёмный трубопровод начинается «трогание» эрлифта, давление на входе в смеситель падает, а расходы воды и воздуха увеличиваются. В этот момент подача компрессорной станции уменьшается до расчётного значения за счёт автоматизированной системы управления компрессорами. При этом регулируется и контролируется расход воды в трубопроводе до установленного значения.

Критерием управления запуском эрлифта в работу является минимум времени запуска Δt_3^{\min} при допустимых значениях контролируемых расходов воздуха в смеситель эрлифтной установки $Q_6^{\min} \leq Q_6 \leq Q_6^{\max}$.

Расчётное значение расхода воздуха компрессорной станции определяется из условия обеспечения расхода воды в подающем трубопроводе, соответствующего надкритическому расходу гидросмеси при заданном расходе твёрдого материала.

Критический расход гидросмеси [2]:

$$Q_{гс\ кр} = \left. \begin{aligned} & \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4} (1 - S)^2 \times \\ & \times \left(1 - \left(\frac{d_m}{d_{mp}} \right)^2 \right) \sqrt{\frac{\pi}{6} a \cdot g \cdot d_m \cdot \psi} + \\ & + K \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4} \sqrt{a \cdot S \cdot g \cdot d_{mp}}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где d_{mp} — максимальный внутренний диаметр подводящего трубопровода;

d_m — средний размер частиц твёрдой фазы;

g — ускорение свободного падения;

$a = \frac{\rho_m - \rho_в}{\rho_в}$ — дифференциальная плотность гидросмеси;

$\rho_m, \rho_в$ — соответственно плотность твёрдой и жидкой фазы;

ψ — коэффициент сопротивления, равный для свежедроблённых материалов 0,5...1,0; для окатанных — 0,22...0,6; для пластинчатых — 0,8...0,95;

K — опытный коэффициент, равный: для частиц диаметром (0...3) мм — 2,5; для частиц (2...10) мм — 2,5...3,0; для частиц 10 мм — 3...3,5;

$S = \frac{Q_{m\ Tз}}{Q_{гс\ кр}}$ — средняя (прогнозируемая)

концентрация твёрдой фазы в трубопроводе;

$Q_{m\ Tз}$ — задание на расход твёрдой фазы.

Задание на расход гидросмеси $Q_{гс\ з}$ устанавливается на уровне надкритического расхода $Q_{гс\ з} = 1,15 \cdot Q_{гс\ кр}$.

Соответствующее задание на расход воздуха:

$$Q_{вз} = F(Q_{всз}, S_{np}, d_m), \quad (2)$$

где $S_{np} = \frac{Q_{mTз}}{Q_{всз}}$ — прогнозируемая кон-

центрация частиц твёрдой фазы в подъёмном трубопроводе, соответствующая заданному расходу ЖМК $Q_{mTз}$ и расходу гидросмеси $Q_{всз}$.

Критерий управления при остановке эрлифта аналогичен критерию управления при его запуске в работу. Штатный останов производится путём уменьшения задания на расход воздуха и последующего управления положением продувочного вентиля до заполнения водой воздухопровода. Аварийный останов системы гидравлического эрлифтного подъёма осуществляется путём открытия продувочного клапана и останова компрессорной станции.

Для поддержания заданного расхода воздуха в смеситель эрлифтной установки при воздействии на процесс подачи воздуха внешних возмущений (состояние воздухопровода, геометрическое погружение и т. п.) необходимо формировать и выдавать задание на расход воздуха в автономную автоматизированную систему управления и контроля компрессорной станции. При этом критерием управления является минимизация отклонения текущего значения расхода сжатого воздуха в смеситель эрлифтной установки от заданного:

$$\frac{1}{t_6} \cdot \int_{t-t_6}^t |Q_{вз} - Q_{вс}|^2 dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$Q_{вкз}^{\min} \leq Q_{вкз} \leq Q_{вкз}^{\max},$$

где $Q_{вз}$ — задание на расход воздуха в смеситель;

$Q_{вс}$ — текущее значение расхода воздуха в смеситель;

t_6 — интервал усреднения;

$Q_{вкз}$ — задающее воздействие на производительность компрессорной станцией,

выдаваемое в систему её управления. Производительность компрессорной станции изменяется от максимального значения $Q_{вкз}^{\max}$ до минимального $Q_{вкз}^{\min}$.

Одновременно с вышеприведённым при регулировании расхода воздуха в смеситель накладываются следующие ограничения:

$$\begin{aligned} Q_{вк}^{\min} &\leq Q_{вк} \leq Q_{вк}^{\max}, \\ N_k &\leq N_k^{\max}, \\ \Delta P &< \Delta P_{\partial}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $Q_{вк}$, $Q_{вк}^{\max}$ — соответственно текущее и максимально допустимое значения расхода воздуха на выходе компрессорной станции, приведённой к нормальным условиям;

N_k — текущее значение мощности, потребляемое приводом компрессорной станции;

N_k^{\max} — максимально допустимая мощность компрессорной станции;

$Q_{вк}^{\min}$ — минимально допустимый расход воздуха в смеситель эрлифта;

ΔP , ΔP_{∂} — соответственно текущая и допустимая разность давлений между внешней средой и внутри воздухопровода на входе в смеситель.

Формирование управляющего воздействия на подачу воздуха компрессорной станцией следует осуществлять при изменении задания или при отклонении текущего значения расхода воздуха в смеситель от заданного значения:

$$\begin{aligned} Q_{вкзi} &= Q_{вкз(i-1)} + K_{в} \cdot \Delta Q_{вi}, \\ \Delta Q_{вi} &= Q_{взi} - Q_{всi}, \\ K_{в} &= \frac{Q_{вк(i-1)}}{Q_{вс(i-1)}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $Q_{вкз}$ — задание на подачу воздуха компрессорной станцией;

$\Delta Q_{в}$ — отклонение текущего расхода воздуха в смеситель от заданного;

i — номер текущего цикла формулирования управляющего воздействия;

$K_{\text{в}}$ — коэффициент утечки воздуха в воздухопроводе от компрессорной станции до смесителя.

Коэффициент утечки определяется в установленном режиме расхода воздуха в воздухопроводе. Если же задание на подачу воздуха в смеситель изменилось во время переходного процесса, то значение управляющего воздействия $Q_{\text{в кз } i} = K_{\text{в}} \cdot Q_{\text{в з } i}$.

Автоматическое управление процессом гидравлического транспортирования твёрдого в подъёмном трубопроводе эрлифта происходит за счёт воздействия на изменение подачи воздуха в смеситель по отклонению текущего значения расхода гидросмеси от заданного в подающем трубопроводе при воздействии на процесс гидроподъёма внешних возмущений (изменение расхода твёрдой фазы в подающем трубопроводе, изменение формы и размера подъёмных частиц). Критерием управления в этом режиме является минимизация отклонения текущего значения расхода гидросмеси от заданного:

$$\frac{1}{\tau_{\text{зс}}} \cdot \int_{t-\tau_{\text{зс}}}^t |Q_{\text{зс з}} - Q_{\text{зс}}|^2 dt \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$Q_{\text{в кз}}^{\min} \leq Q_{\text{в к}} \leq Q_{\text{в кз}}^{\max},$$

где $Q_{\text{зс з}}$ — задание на расход гидросмеси в подъёмном трубопроводе;

$\tau_{\text{зс}}$ — интервал усреднения сигнала расхода гидросмеси.

При этом на управление расходом гидросмеси в подъёмной трубе эрлифта накладывается ограничение

$$Q_{\text{зс кр}} < Q_{\text{зс}} \leq Q_{\text{зс}}^{\max}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{зс}}$ — текущее значение расхода гидросмеси в подъёмном трубопроводе;

$Q_{\text{зс}}^{\max}$ — максимально допустимый расход гидросмеси.

Поскольку эрлифтный гидроподъём характеризуется, с точки зрения управления, большими транспортными запаздываниями и постоянными времени, то задача регулирования расхода гидросмеси решается путём формирования задания на расход воздуха в смеситель эрлифта с использованием его расходных характеристик и дальнейшим контролем протекания переходного процесса. По текущим значениям параметров средней концентрации и гранулометрического состава частиц твёрдой фазы, а также в соответствии с заданным значением расхода гидросмеси по (1) определяется прогнозируемое значение расхода воздуха в смеситель эрлифта (по заданным геометрическому и динамическому погружениям α и $\alpha_{\text{д}}$, удельному расходу воздуха q и т. д.). Полученное значение расхода воздуха передаётся в виде задания в задачу регулирования расхода воздуха в смеситель.

Формирование управляющего воздействия на поддержание заданной концентрации твёрдой фазы в подъёмной трубе эрлифта при воздействии на процесс гидроподъёма внешних возмущений происходит за счёт минимизации отклонения текущего значения концентрации от заданного:

$$\frac{1}{\tau_{\text{с}}} \cdot \int_{t-\tau_{\text{с}}}^t |S_{\text{з}} - S|^2 dt \rightarrow \min, \quad (8)$$

$$Q_{\text{в кз}}^{\min} \leq Q_{\text{в кз}} \leq Q_{\text{в кз}}^{\max},$$

где S , $S_{\text{з}}$ — соответственно текущее и заданное значения концентрации гидросмеси в транспортном трубопроводе на выходе дозатора;

$\tau_{\text{с}}$ — интервал усреднения.

Сформированное в результате решения этой задачи задание на расход гидросмеси передаётся задаче регулирования расхода гидросмеси, которая формируется и корректируется при изменении задания концентрации или расхода твёрдой фазы:

$$Q_{zc\ 3} = \frac{Q_{m\ 3}}{S_3}, \quad (9)$$

где $Q_{m\ 3}$ — задание на расход твёрдой фазы.

В случае отклонения текущего значения концентрации в транспортном трубопроводе от заданного значения на расход гидросмеси формируется следующим образом:

$$Q_{zc\ 3\ i} = Q_{zc\ 3\ (i-1)} - \Delta S \frac{Q_{zc\ 3\ (i-1)}}{S_{3\ (i-1)}}, \quad (10)$$

где ΔS — отклонение текущего значения концентрации от заданного.

Основным режимом управления гидравлическим эрлифтным гидроподъёмом является оптимальное управление концентрацией твёрдого в подъёмном трубопроводе с целью повышения эффективности работы эрлифта за счёт минимизации энергозатрат на подъём заданного количества твёрдого.

Одним из критериев оптимального управления является минимизация мощности, потребляемой приводом компрессорной станции при заданной производительности по твёрдому, при воздействии на процесс подъёма внешних возмущений:

$$\int_{t-\tau_y}^t \frac{N}{Q_m} dt \rightarrow \min, \quad (11)$$

$$0 \leq S \leq S_{кр},$$

где N — мощность, потребляемая компрессорной станцией;

Q_m — расход твёрдого;

$S, S_{кр}$ — соответственно текущая и критическая концентрация твёрдых частиц в гидросмеси в транспортном трубопроводе;

τ_y — интервал скользящего усреднения.

При оптимальном по минимуму энергозатрат значении объёмной концентрации гидросмеси мощность подводимого к смесителю сжатого воздуха будет минимальной:

$$N_{\theta} = \frac{K[S(\rho_m - \rho_{жс}) + \rho_{жс}]}{\rho_{жс} \cdot \rho_m \cdot S} \times \times \frac{q_c \cdot Q_{m\ T}}{\rho_{жс} \cdot \rho_m \cdot S} \cdot P_{см}^{дин}, \quad (12)$$

где K — коэффициент, зависящий от средней плотности гидросмеси и изменяющийся в пределах $(1, 2 \dots 1, 4)$;

$\rho_m, \rho_{жс}$ — соответственно плотность твёрдых частиц и транспортируемой жидкости;

$P_{см}^{дин}$ — динамическое давление в смесителе эрлифта;

q_c — среднеинтегральное значение удельного расхода воздуха по длине подъёмной трубы.

$$P_{см}^{дин} = \rho_{жс} \cdot g \cdot (h - i \cdot L_{mp}), \quad (13)$$

где L_{mp} — длина подводящей трубы эрлифта;

h — геометрическое погружение смесителя относительно свободного уровня жидкости;

i — удельные потери напора (давления) при движении гидросмеси в транспортном трубопроводе [2]:

$$i = \frac{4S \cdot Q_{m\ T} \cdot (\rho_m - \rho_{жс})}{\rho_{жс} \cdot 4 \cdot Q_{m\ T} \cdot \pi \cdot \rho_m \cdot d_{mp}^2 \cdot (1-S)^2 \sqrt{\frac{4g \cdot d_m \cdot (\rho_m - \rho_{жс})}{3\rho_{жс} \cdot C}}} +$$

$$+ \frac{8\lambda \cdot Q_{m\ T}^2}{\pi^2 \cdot d_{mp}^3 \cdot S^2 \cdot \rho_m \cdot g} \cdot \left\{ 1 + \frac{10S \cdot g \cdot d_{mp} \cdot (\rho_m - \rho_{жс})}{\rho_m \cdot \frac{4 \cdot Q_{m\ T}}{\pi \cdot \rho_m \cdot d_{mp}^2 \cdot S} \cdot (1-S)^2 \sqrt{\frac{4g \cdot d_m \cdot (\rho_m - \rho_{жс})}{3\rho_{жс} \cdot C}}} \right\}, \quad (14)$$

где C — коэффициент сопротивления движению твёрдых частиц, зависящий от формы последних;

λ — коэффициент гидравлических сопротивлений (коэффициент Дарси).

Среднеинтегральное значение удельного расхода воздуха по длине подъёмной трубы:

$$q_c = (22,7 + 10,1\alpha_\partial) \cdot 0,0063^{0,97\alpha_\partial}. \quad (15)$$

Динамическое погружение смесителя эрлифтной установки:

$$\alpha_\partial = \frac{P_{см}^{дин}}{\rho_{жс} \cdot g \cdot (h + H_n)}, \quad (16)$$

где H_n — высота подъёма гидросмеси над уровнем гидросмеси.

Как отмечалось ранее, задача оптимального управления режимом подъёма твёрдого решается путём определения такого значения концентрации, при котором энергозатраты на гидроподъём близки к минимальному значению. Для этого путём исследования (11) на экстремум, соответствующий заданному расходу твёрдого $Q_{тТ}$, определяется близкое к относительному значению концентрации. Вывод эрлифта в

этот расчётный рабочий режим по концентрации гидросмеси осуществляется путём решения задачи её регулирования. После установления в подводящем транспортном трубопроводе заданной концентрации гидросмеси производится пошаговый поиск такого значения на концентрацию гидросмеси, при котором мощность, потребляемая электроприводом компрессорной станции будет минимальной.

Выводы и направления дальнейших исследований. Выходной информацией системы управления технологическим процессом эрлифтного гидравлического подъёма твёрдого являются: управляющее воздействие — задание объёмного расхода воздуха эрлифтом (производительности компрессорной станции); сообщения о режимах гидроподъёма, выводимое на терминал оператора-технолога (сообщения о приближении критического режима движения в транспортном трубопроводе; сообщение о завершении запуска эрлифта); значения регулируемых переменных, выводимые на терминал оператора-технолога.

Необходимо разработать алгоритмы управления эрлифтными установками.

Библиографический список

1. Самуся, В. И. Разработка алгоритмов управления переходными режимами в глубоководных эрлифтных гидроподъёмах [Текст] / В. И. Самуся, В. Е. Кириченко, В. В. Евтеев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — Донецьк : ДонНТУ, 2008. — Вип. 16 (142). — С. 239–244 — (Серія: гірничо-електромеханічна).
2. Мияэ, С. Оптимальные условия гидравлической транспортировки сыпучих веществ [Текст] / С. Мияэ // «Рюттай когакку». — 1976. — Т. 12., № 9. — С. 536–544.

© Малеев В. Б.

© Кудрявцев А. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. ГЭМиО ДонГТУ Корнеевым С. В., д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.

Статья поступила в редакцию 11.10.18.

д.т.н. Малєєв В. Б., Кудрявцев О. О. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ ГЛУБОКОВОДНИМ ЕРЛІФТНИМ ГІДРОПІДЙОМОМ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Залежно від умов роботи видобувної установки визначено критерії: управління запуском, штатним і аварійним остановом ерліфта; регулювання витрати гідросуміші, її концентрацій; управління оптимальним режимом підйому.

Ключові слова: ерліфт, гідросуміш, гідропідйом, режими роботи ерліфта, оптимальне керування.

Doctor of Tech. Sc. Maleev V. B., Kudriavtsev A. A. (DonNTU, Donetsk, DPR,
teormeh@fimm.donntu.org)

CHARACTERISTICS OF MANAGEMENT OF THE DEEP-WATER AIRLIFT OF THE HYDRAULIC MINERALS HOISTING

Depending on the operating conditions of the mining track, the management criteria have been determined: the airlift starting; normal and emergency shut-down of the airlift; controlling the flow of slurry; regulating the concentrations of slurry and the optimal hoisting mode.

Key words: airlift, slurry, hydraulic hoisting, modes of airlift operating, optimal control.

УДК 66.7

д.т.н. Сотников А. Л.,
Щербина С. В.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ЕГО СБОРКЕ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Приведены результаты определения вероятности безотказной работы резьбового соединения крепления основания поворотного стенда машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) при его сборке различными методами. Показано, что применение метода затяжки болтов приложением осевых сил позволяет повысить не только вероятность безотказной работы, но и проектный ресурс резьбовых соединений такой высоконагруженной машины, как поворотный стенд МНЛЗ.

Ключевые слова: резьбовое соединение, болт, методы сборки, квантиль, вероятность безотказной работы, проектный ресурс.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Важными условиями, которые влияют на обеспечение безотказной работы резьбовых соединений высоконагруженных, в частности металлургических, машин, являются правильность расчёта силы предварительной затяжки с учётом функциональных особенностей металлургических машин и обеспечение высокой точности создания значения этой силы в процессе сборки [1–5].

Установив зависимость между точностью затяжки болтов (шпилек) и вероятностью их безотказной работы, можно будет оценить проектный ресурс резьбовых соединений металлургических машин [6–10]. В частности, такие задачи характерны для оборудования машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [11–15].

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является изучение влияния точности создания силы предварительной затяжки (или точности затяжки) в шпильках крепления основания поворотного стенда МНЛЗ на вероятность их безотказной работы и проектный ресурс резьбовых соединений.

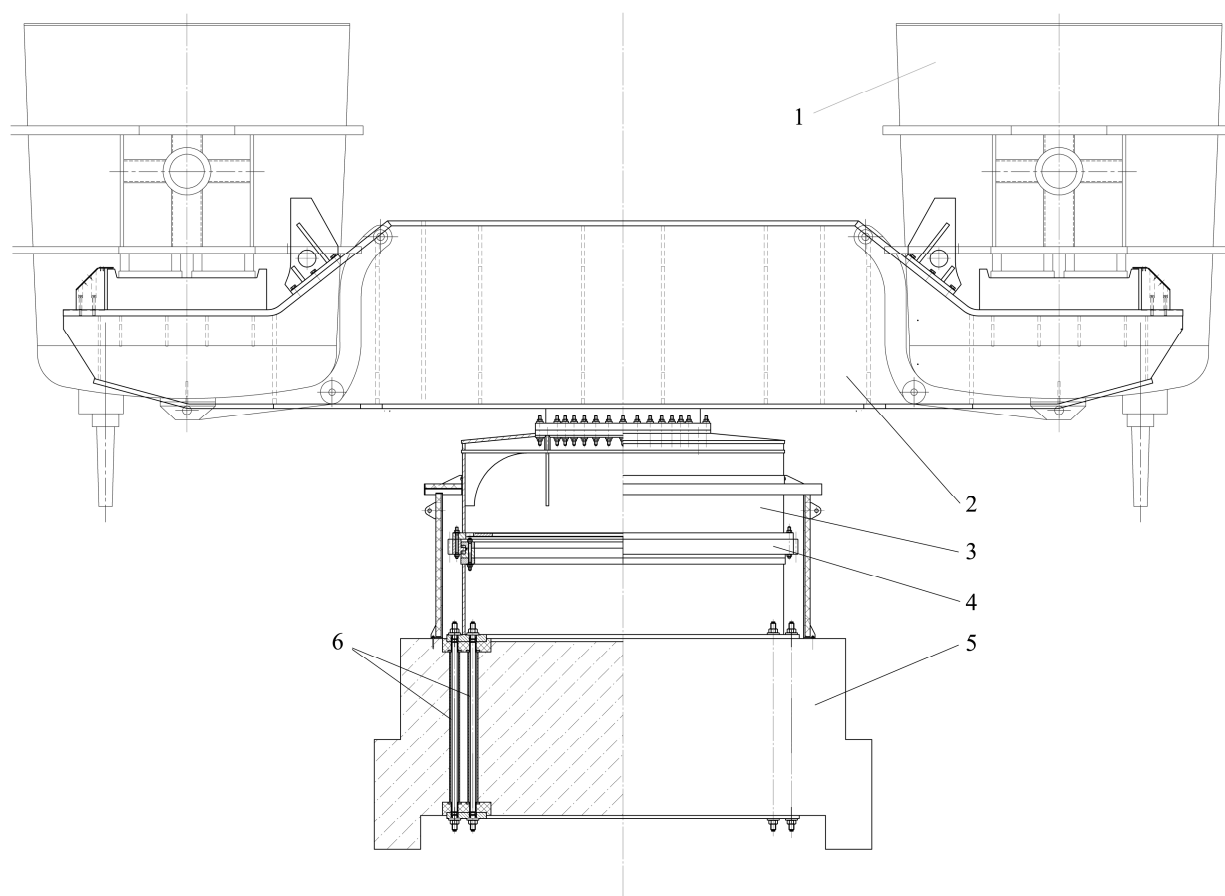
Изложение материала и результаты. Решение задачи показано на примере резьбового соединения крепления основания поворотного стенда МНЛЗ электросталеплавильного цеха одного из металлургических заво-

дов Донецкого региона. Неподвижная колонна поворотного стенда установлена на фундаменте и закреплена на нём 24-мя шпильками М36 по периметру основания (рис. 1).

К поворотной колонне 3 стенда крепится платформа 2, на которой свободно устанавливаются сталеразливочные ковши 1 (см. рис. 1). Наиболее неблагоприятное условие нагружения стенда, вызывающее возникновение момента опрокидывания, возникает при установке на поворотный стенд только одного ковша, заполненного расплавом. В этом случае при повороте стенда шпильки 6 воспринимают циклически изменяющиеся переменные нагрузки в результате действия опрокидывающего момента. Выполненный проверочный расчёт шпилек при массе металла с ковшом 125 т показал правильность назначения их диаметра.

В соответствии с известными положениями теории расчёта надёжности машин [7], вероятность безотказной работы резьбового соединения p равна произведению вероятностей безотказной работы по различным критериям (p_1 — нераскрытия стыка; p_2 — сопротивления усталости болта (шпильки); p_3 — статической прочности болта (шпильки) и др.):

$$p = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots \quad (1)$$



1 — сталеразливочный ковш; 2 — платформа; 3 — поворотная колонна;
4 — опорно-поворотное устройство; 5 — фундамент; 6 — шпильки

Рисунок 1 Общий вид поворотного сталеразливочного стенда МНЛЗ

Число учитываемых критериев определяется в зависимости от их значимости.

Остановимся на вероятности безотказной работы резьбового соединения по критерию нераскрытия стыка, которая соответствует вероятности того, что наименьшие напряжения сжатия в стыке после приложения внешней нагрузки будут больше нуля. Вероятность безотказной работы резьбового соединения в этом случае зависит от квантиля нормированного нормального распределения u_{p_1} (далее — квантиль) [7]:

$$u_{p_1} = -\frac{\bar{n}_1 - 1}{\sqrt{\bar{n}_1^2 \cdot v_{Q_0}^2 + v_P^2}}, \quad (2)$$

где v_{Q_0}, v_P — коэффициенты вариации силы предварительной затяжки Q_0 и техно-

логической силы P , по данным работы [7] принимаем $v_P = 0,1$; значение v_{Q_0} зависит от разброса силы затяжки δ (табл. 1); \bar{n}_1 — коэффициент запаса нераскрытия стыка по средним нагрузкам определяется по формуле

$$\bar{n}_1 = \frac{\bar{Q}_0}{\beta_c \cdot \bar{P} \cdot (1 - \chi)}, \quad (3)$$

где \bar{Q}_0 и \bar{P} — средние значения сил Q_0 и P соответственно; β_c — коэффициент, учитывающий возможное ослабление затяжки вследствие обжатия стыков в процессе работы соединения — $\beta_c = 1,1$ [7]; χ — коэффициент основной нагрузки соединения.

В таблице 1 приведены значения: коэффициента вариации силы предварительной

затяжки по данным работы [7], квантиля, рассчитанные по формуле (2), и вероятности безотказной работы резьбового соединения по критерию нераскрытия стыка p_1 . Расчёты квантиля u_{p_1} выполнены для значения $\chi=0,3$ и отношения $\bar{Q}_0 / \bar{P} = 1$.

Разброс силы затяжки в таблице 1 характеризует точность затяжки резьбового соединения. Наименьший разброс значения силы затяжки соответствует более высокой точности затяжки, а, соответственно, наибольший разброс значения — менее высокой точности.

На рисунке 2 приведена графическая зависимость значений вероятности безотказной работы рассматриваемых резьбовых соединений по критерию нераскрытия стыка от точности создания силы предварительной затяжки в шпильках. Эта зависимость также наглядно показывает, что чем больше разброс силы предварительной затяжки, тем ниже вероятность безотказной работы резьбового соединения (показаны стрелки на рисунке 2).

Ниже приведён расчёт значения квантиля u_{p_1} по формуле (2) при сборке резьбовых соединений методом приложения осевых сил и разном количестве затяжек:

– 1 затяжка (разброс силы затяжки $\pm 3...5$ %):

$$u_{p_1} = -\frac{1,3 - 1}{\sqrt{1,3^2 \cdot 0,02^2 + 0,1^2}} = -2,903;$$

– 2–3 последовательные затяжки в соответствии с рекомендациями, данными в работах [8, 9] (разброс силы затяжки $\pm 2,5$ %):

$$u_{p_1} = -\frac{1,43 - 1}{\sqrt{1,43^2 \cdot 0,017^2 + 0,1^2}} = -4,178.$$

Применение рекомендаций по последовательной затяжке болтов 2–3 раза методом приложения осевых сил приводит к полному выбору зазоров в резьбе болта (шпильки) и между гайкой и деталью стыка [8, 9]. При этом коэффициент $\beta_c=1$, а это, в свою очередь, приведёт к повышению коэффициента запаса нераскрытия стыка по средним нагрузкам на 10 % и, соответственно, квантиля u_{p_1} .

В таблице 2 приведены значения вероятности безотказной работы исследуемого резьбового соединения по критерию нераскрытия стыка p_1 .

Применение рекомендаций по сборке рассматриваемых резьбовых соединений методом приложения осевых сил позволяет не только устранить касательные напряжения в теле шпильки, но и повысить вероятность их безотказной работы по критерию нераскрытия стыка до 0,99998.

Таблица 1

Данные и результаты определения вероятности безотказной работы резьбового соединения по критерию нераскрытия стыка

Разброс силы затяжки, δ , %	Коэффициент вариации силы Q_0 , v_{Q_0}	Квантиль u_{p_1}	Вероятность безотказной работы p_1
$\pm 25...30$	0,09	–1,949	0,97440
± 15	0,05	–2,515	0,99405
± 10	0,04	–2,661	0,99610
$\pm 3...5$	0,02	–2,903	0,99816

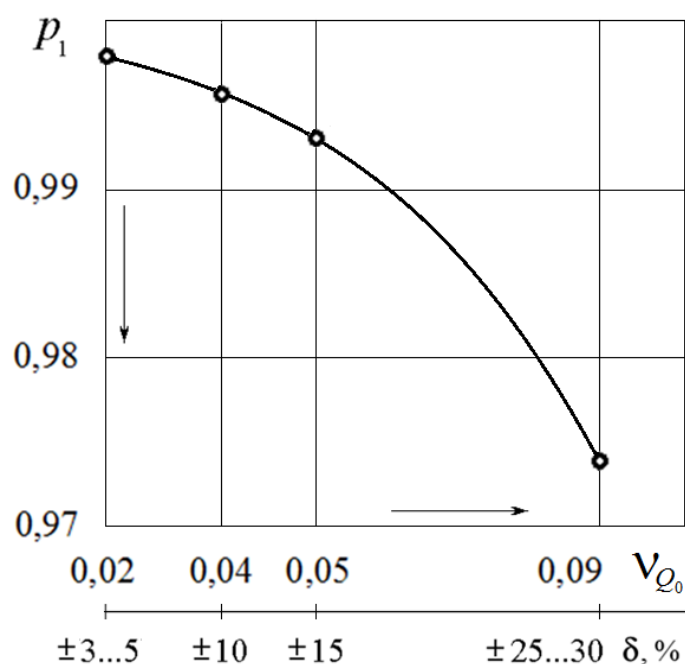


Рисунок 2 Зависимость вероятности безотказной работы резьбового соединения по критерию нераскрытия стыка от разброса значений δ силы предварительной затяжки

Ресурс рассматриваемых резьбовых соединений крепления основания поворотного станда МНЛЗ определяется в сутках и зависит от трёх параметров: $k_1=10$ лет — количества лет их работы; $k_2=365$ дней — количества рабочих дней в году; вероятности их безотказной работы по критерию нераскрытия стыка p_1 :

$$PC = k_1 \cdot k_2 \cdot p_1. \quad (4)$$

Ресурс рассматриваемых резьбовых соединений крепления основания поворотного станда МНЛЗ при вероятности их безотказной работы по критерию нераскрытия сты-

ка 0,9744 (затяжка шпилек методом приложения внешнего крутящего момента) равен

$$PC1 = 10 \cdot 365 \cdot 0,9744 = 3556,56 \text{ сут.}$$

Ресурс рассматриваемых резьбовых соединений при вероятности их безотказной работы по критерию нераскрытия стыка 0,99816 (затяжка шпилек методом приложения осевых сил 1 раз) равен

$$PC2 = 10 \cdot 365 \cdot 0,99816 = 3643,28 \text{ сут.}$$

Тот же ресурс при затяжке шпилек методом приложения осевых сил 2–3 раза в соответствии с рекомендациями работ [8, 9] равен

$$PC3 = 10 \cdot 365 \cdot 0,99998 = 3649,92 \text{ сут.}$$

Таблица 2

Результаты определения вероятности безотказной работы рассматриваемого резьбового соединения по критерию нераскрытия стыка

Разброс силы затяжки $\delta, \%$	Количество затяжек	Квантиль u_{p_1}	Вероятность безотказной работы p_1
$\pm 3 \dots 5$	1	-2,903	0,99816
$\pm 2,5$	2–3	-4,178	0,99998

Повышение проектного ресурса поворотного стенда МНЛЗ в результате перехода с метода затяжки шпилек приложением внешнего крутящего момента на метод приложения осевых сил (1 затяжка) составит

$$\begin{aligned} \text{ПР1} &= \text{PC2} - \text{PC1} = \\ &= 3643,28 - 3556,56 = 86,72 \text{ сут}, \end{aligned}$$

а в результате затяжки шпилек с использованием рекомендаций работ [8, 9] (2–3 затяжки методом приложения осевых сил) составит

$$\begin{aligned} \text{ПР2} &= \text{PC3} - \text{PC1} = \\ &= 3649,92 - 3556,56 = 93,36 \text{ сут}. \end{aligned}$$

Применение для сборки крупногабаритных резьбовых соединений рекомендаций по затяжке шпилек методом приложения осевых сил 2–3 раза позволяет повысить вероятность их безотказной работы по критерию нераскрытия стыка до 0,99998 и, соответственно, не допустить сокращения проектного ресурса поворотного стенда МНЛЗ, равного 10 годам.

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализ приведённых результатов исследования показал, что при затяжке шпилек крепления основания поворотного стенда МНЛЗ методом приложения внешнего крутящего момента вероятность их безотказной работы по критерию нераскрытия стыка составляет 0,97440, что ведёт к сокращению проектного ресурса резьбового крепления на 93,36 суток.

При выполнении затяжки шпилек 1 раз методом приложения осевых сил вероятность их безотказной работы по критерию нераскрытия стыка повышается до 0,99816. Это позволяет повысить проектный ресурс рассматриваемых резьбовых соединений на 86,72 суток.

Применение для сборки крупногабаритных резьбовых соединений рекомендаций по затяжке болтов 2–3 раза методом приложения осевых сил позволяет повысить коэффициент запаса нераскрытия стыка по средним нагрузкам на 10 % и вероятность их безотказной работы по критерию нераскрытия стыка до 0,99998 и, соответственно, не допустить сокращения их проектного ресурса.

Библиографический список

1. Жиркин, Ю. В. Надёжность, эксплуатация и ремонт металлургических машин [Текст] : учебник. Часть 2 / Ю. В. Жиркин. — Магнитогорск : МГТУ, 2005. — 118 с.
2. Сотников, А. Л. Расчёт усилия предварительной затяжки резьбового крепления полого вала редуктора [Текст] / А. Л. Сотников, Н. А. Родионов, А. А. Ольшевский, С. В. Птуха // Металлургические процессы и оборудование. — 2013. — № 2. — С. 50–57.
3. Сотников, А. Л. Сборка крупногабаритных резьбовых соединений методом приложения осевых сил [Текст] / А. Л. Сотников, С. В. Щербина // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2017. — Вып. 48. — С. 167–174.
4. Сотников, А. Л. Унификация требований к крупногабаритным резьбовым соединениям металлургического оборудования [Текст] / А. Л. Сотников, С. В. Щербина // Научно-технический прогресс в чёрной металлургии – 2017 : Материалы III Межд. науч. конф. (Череповец, 19–20 октября 2017 г.). — Череповец : Череповецкий гос. ун-т, 2017. — С. 225–231.
5. Шоломицкий, А. А. Наблюдения за деформациями, оценка и прогнозирование технического состояния подъёмно-транспортного оборудования [Текст] / А. А. Шоломицкий, А. Л. Сотников, В. М. Нагорный, В. В. Нагорный, Т. Г. Николаева, Н. В. Малеев // Металлургические процессы и оборудование. — 2009. — № 3. — С. 31–38.
6. Эксплуатация и обслуживание машин [Текст] : учебник для вузов / В. М. Кравченко, А. А. Иценко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин. — Донецк : Донбасс, 2014. — 532 с.
7. Решетов, Д. Н. Надёжность машин [Текст] / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. — М. : Высшая школа, 1988. — 238 с.
8. Щербина, С. В. Применение гидравлического устройства для сборки резьбовых соединений большого диаметра [Текст] / С. В. Щербина // Прогрессивные технологии и системы

машиностроения : Международный сб. научных трудов. — Донецк : ДонГТУ. — 1999. — Вып. 7. — С. 211–214.

9. Седуш, В. Я. Сборка крупногабаритных резьбовых соединений методом приложения осевых сил [Текст] / В. Я. Седуш, С. В. Щербина // Защита металлургических машин от поломок. — 2002. — Вып. 6. — С. 116–122.

10. Сотников, А. Л. Моделирование динамики механических систем [Текст] / А. Л. Сотников, Р. В. Ковалев // Вибрация машин : измерение, снижение, защита. — 2012. — № 3. — С. 44–49.

11. Сотников, А. Л. Состояние непрерывной разливки стали на сортовых МНЛЗ в Украине и Молдове [Текст] / А. Л. Сотников, В. Н. Киреев, А. Ю. Оробцев и др. // Сталь. — 2013. — № 12. — С. 8–13.

12. Смирнов, Е. Н. Проблемы совершенствования оборудования машин непрерывного литья заготовок [Текст] / Е. Н. Смирнов, А. Л. Сотников, Н. А. Родионов, А. Стефаник // Metallurgy 2012, New Technologies and Achievements. — Czestochowa (Poland) : Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej, 2012. — Seria : Monografie. — No. 25. — P. 69–76.

13. Сотников А. Л. Принципы обеспечения точности конструктивных параметров сортовой МНЛЗ [Текст] / А. Л. Сотников // Современные проблемы электрометаллургии стали : материалы XVII Межд. конф. : в 2 ч. — Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2017. — Ч. 2. — С. 57–66.

14. Могильный, С. Г. Совершенствование технологий контроля положения и выставки оборудования МНЛЗ [Текст] / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, А. А. Лунев, А. Л. Сотников, Э. М. Ватралик, И. С. Фролов // Металлургические процессы и оборудование. — 2012. — № 3. — С. 12–25.

15. Сотников, А. Л. Задачи и методы контроля и диагностирования технологического оборудования МНЛЗ [Текст] / А. Л. Сотников // Металлургические процессы и оборудование. — 2014. — № 3. — С. 33–44.

© Сотников А. Л.

© Щербина С. В.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Сидоровым В. А.,
к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.

Статья поступила в редакцию 12.10.18.

д.т.н. Сотников О. Л., Щербина С. В. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРИ ЙОГО ЗБИРАННІ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

Наведено результати визначення ймовірності безвідмовної роботи різьбового з'єднання кріплення основи поворотного стенда машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) при його збиранні різними методами. Показано, що застосування методу затягування болтів прикладанням осьових сил дозволяє підвищити не тільки ймовірність безвідмовної роботи, але й проектний ресурс різьбових з'єднань такої високонавантаженої машини, як поворотний стенд МБЛЗ.

Ключові слова: різьбове з'єднання, болт, метод збирання, квантиль, ймовірність безвідмовної роботи, проектний ресурс.

Doctor of Tech. Sc. Sotnikov A. L., Shcherbina S. V. (DonNTU, Donetsk, DPR)

ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF NO-FAILURE THREADED CONNECTIONS AT IT ASSEMBLY BY DIFFERENT METHODS

There have been given the results of determining the probability of no-failure operation of the threaded connection fixing the base of the rotary stand of the continuous casting machine (CCM) during its assembly by different methods. It is shown that the use of the method of bolts tightening by the application of axial forces allows to increase not only the probability of no-failure operation, but also the design service life of threaded connections of such a high-loaded machine as the CCM rotary stand.

Key words: threaded connection, bolt, assembly methods, quantile, probability of no-failure operation, design service life.

УДК 621.73:658.382.3

*к.т.н. Вишневский Д. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ В КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПО МЕСТУ ПРОИСШЕСТВИЯ И ПО ВРЕМЕНИ ОТ НАЧАЛА РАБОТЫ

Проведён анализ характера распределения несчастных случаев (НС) в кузнечно-прессовом производстве (КПП) по месту происшествия. Установлено, что его максимальные показатели связаны с рабочим местом (от 81 % до 88 % всех НС).

Показано, что распределение НС в КПП по количеству часов от начала работы имеет три пиковые величины, из которых две имеют максимальное значение между вторым и третьим и, соответственно, шестым-седьмым часом, а одна является минимальной — в конце смены после семи часов от начала работы.

Ключевые слова: кузнечно-прессовое производство, травматизм, несчастный случай, рабочее место, рискообразующие причины, человеческий фактор.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Исследованию проблем риска в последние годы уделяется высокое внимание, поскольку человечество пришло к выводу, что в наше время достигнуть абсолютной безопасности невозможно, и поэтому начала внедряться «Концепция приемлемого риска». Её суть заключается в стремлении к такой безопасности, которая является приемлемой в существующих социально-экономических и научно-технических условиях. Этому способствовал и утвержденный в 1999 г. международный стандарт OHSAS (Occupational Health and Safety Assurance System — серия «Системы управления здравоохранением и безопасностью труда»), основанный в европейских странах, и его внедрение началось в Украине. В стандарте OHSAS 18002:2000 указано, что риск — это комбинация вероятности осуществления установленного опасного события и его последствий. А опасность — это центральное понятие безопасности жизнедеятельности и её составляющей — охраны труда, которое объединяет явления, процессы и объекты, способные в определённых условиях наносить вред здоровью человека. Человек же в «охране труда» является не только объектом заботы, но и главным фактором риска.

Анализ состояния вопроса. Методы статистического анализа используются широко, но недостаточно упорядоченно, что связано в первую очередь с существенной их трудоёмкостью. Эти методы не стали важным звеном с точки зрения действенности мер, разрабатываемых на их основе, так как отсутствует возможность оперативного прослеживания изменения показателей травматизма на предприятиях при принятии решений по управлению, которыми не используется методология оценки угрожающих опасностей, основанных на риск-ориентированном подходе. Это является следствием разнообразия количественных моделей оценки рисков и необходимости наличия исходных данных. Возможность применения стохастических и имитационных моделей при оценке риска не исследована [1].

Сегодня одним из наиболее существенных затруднений такой оценки является отсутствие аналитического подхода при использовании понятия «производственная система» по отношению к рабочему месту, технологическому процессу, отдельному участку, цеху, заводу или области и понимание того, что эта система способна регулировать взаимодействие между человеком, средствами производства, рабочими материалами и окружающей средой.

Хотя актуальность проблемы обучения всех без исключения работников по выявлению, устранению или снижению до приемлемого уровня профессионального риска не вызывает сомнения, и менеджмент предприятия и рядовые сотрудники должны понимать, что функционирование любой системы, в т. ч. СУОТ, зависит от того, как они к ней относятся и насколько готовы выполнять её требования [2].

Поскольку Евростандарт OHSAS 18001:1999 предусматривает для эффективного функционирования системы управления охраной труда внутренние и внешние аудиты и её сертификацию, в т. ч. международными органами, то в [3] рекомендуется к положениям о СУОТ, действующим на предприятиях, добавить ещё три документа, которые предусматривали бы порядок разработки политики и стратегии предприятия в области охраны труда, идентификации и оценки профессионального риска с разработкой мер по их устранению, осуществление постоянного контроля и прогнозирование состояния охраны труда, её внутреннего и внешнего аудита соответствующей сертификацией.

В свете вышеизложенного в настоящее время особую актуальность приобретают вопросы, связанные с методологией оценки профессионального риска. В частности, в [4] указано, что основными нарушениями нормативно-правовых актов по охране труда (НПАОТ), приводящими к росту риска травмирования, являются:

- отсутствие документального подтверждения того, что на предприятии применяются машины и механизмы, соответствующие установленным действующим требованиям безопасности, а также того, что на нём организована и действует служба охраны труда согласно НПАОТ;
- нарушение нормативно-правовых требований к объектам повышенной опасности.

Постановка задачи. Необходимо выполнить исследования распределения НС в КПП по месту происхождения и определить их максимальные значения.

Материалы и результаты исследования. При выполнении экспериментальных исследований использовались данные актов по форме Н-1 за период с 1980 по 2004 годы по расследованию причин производственного травматизма в ОАО ХК «Лугансктепловоз» для установки основных рискообразующих факторов в КПП и следствий их проявления. Но при этом из результатов исследования были удалены «лучшие» и «худшие» периоды времени, поскольку в 1985 году это предприятие интенсивно разрабатывало и ставило в производство новые типы магистральных тепловозов наряду с выполнением госзаказа на выпуск существующих, на котором было занято основное количество из около 33900 работников [5]. А с 1985 по 1989 годы в условиях устойчивого производства ежегодно изготовлялось наибольшее количество продукции, в первую очередь тепловозов, то есть интенсивность и напряжённость труда достигали самых высоких показателей, что, в свою очередь, приводило к стабильно значительному количеству НС.

Выполненные исследования распределения НС в КПП по месту происхождения (табл. 1, рис. 1, 2) в указанные годы свидетельствует о том, что его максимальные значения связаны с рабочим местом. Так, в 1985 г. на рабочем месте произошло 88 % всех НС в КПП, в 1987 г. — 86 %, в 1989 г. — 81 %. На территории производственных участков произошло в 1985 г. 7 % НС от общего их количества, в 1987 г. — 8 % и в 1989 г. — 12 %. Что касается НС, которые произошли на территории предприятия, то их доля в общем количестве составляла в 1985 г. 5 %, в 1987 г. — 6 % и в 1989 г. — 7 %. В связи с незначительным количеством позиций 4 и 5 (табл. 1) при построении графического материала они не учтены.

Эти данные свидетельствуют о том, что основные рискообразующие причины связаны с оборудованием, его надёжностью, характером труда и его напряжённостью, физическим и психофизиологическим со-

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

стоянием работников, их профессиональными навыками и умениями, способностями к обучению и т. д. Но и совокупный вклад НС, произошедших на территории цеха и предприятия, в общее их количество привлекает внимание, поскольку он колеблется

от 12 % в 1985 г. и 14 % в 1987 г. до 19 % в 1989 г., что является значительным резервом по снижению количества НС в КПП, ведь, как правило, такие места событий мало связаны с состоянием технических систем и вероятностью их безотказной работы.

Таблица 1

Распределение НС в КПП по месту события по годам

№ п/п	Место события	Общее количество травм среди мужчин			Общее количество травм среди женщин			Общее количество травм в КПП		
		1985	1987	1989	1985	1987	1989	1985	1987	1989
1	На рабочем месте	127	124	96	27	25	19	154	149	115
2	На территории цеха	9	9	16	3	4	2	12	13	18
3	На территории предприятия	7	7	8	1	3	2	8	10	10
4	В подсобных помещениях	0	2	1	0	0	0	0	2	1
5	При выполнении общественных работ	0	0	0	1	2	0	1	2	0
6	Всего	143	142	121	32	34	23	175	176	144

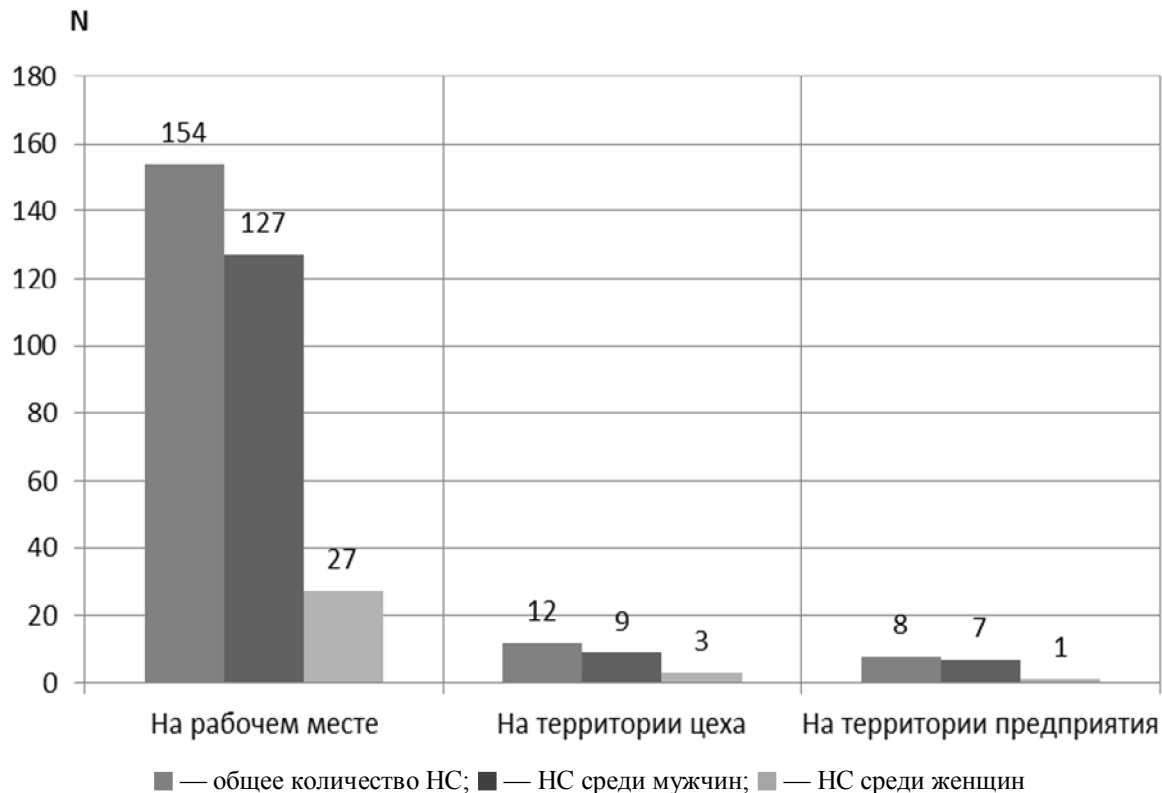


Рисунок 1 Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1985 г. среди мужчин и женщин

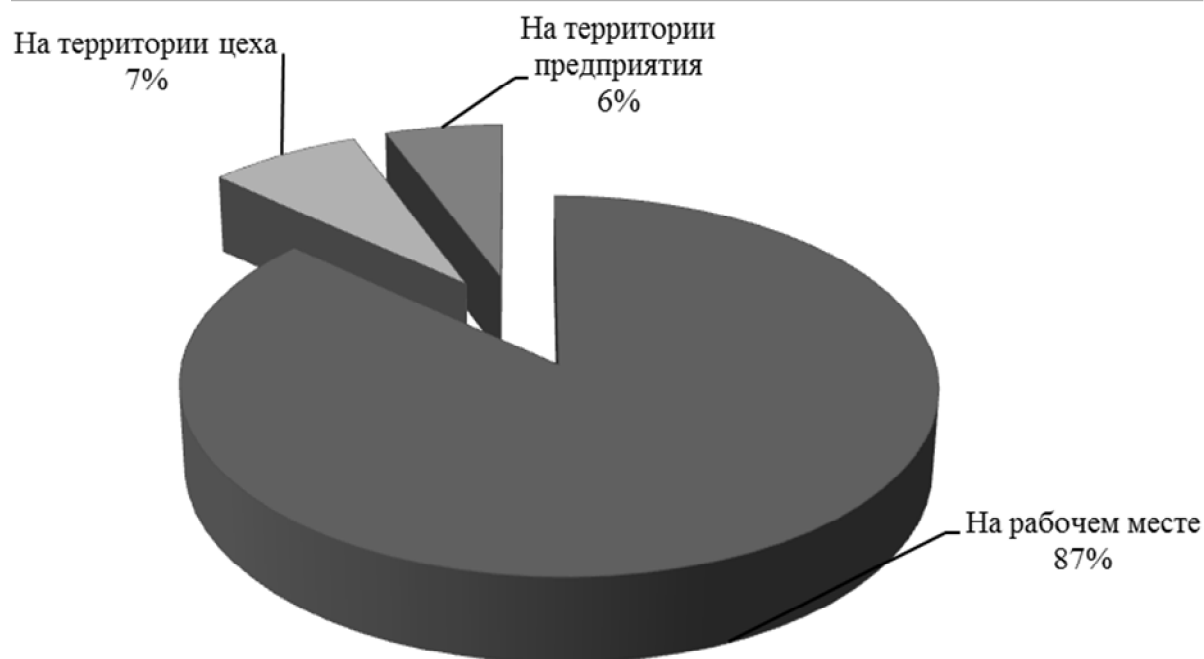


Рисунок 2 Распределение НС в КПП по месту происшествия в 1987 г.

Они, в первую очередь, в частности в производственных помещениях, связаны с существующими строительно-планировочными решениями, которые менялись при переоснащении их новым оборудованием, характером технологических процессов, размещением основного и вспомогательного оборудования, наличием возвращения и пересечения путей транспортировки заготовок и готовых деталей, схемой размещения складских мест и т. д., то есть организационными.

Во вторую очередь, такие места травмирования связаны с психофизиологическими особенностями работников, неспособных до конца понимать смысл выражения «нельзя», который, как правило, является основным во всех должностных инструкциях по охране труда. И в третью очередь, это места возникновения НС, связанные с отсутствием инструктивно закреплённых путей передвижения работников как в производственных помещениях, так и на территории предприятия.

Необходимо отметить, что распределение НС в КПП по месту происшествия отдалено среди мужчин и женщин за указан-

ные годы почти не отличается от выше-рассмотренного общего. Так, для мужчин оно складывается следующим образом: на рабочем месте — от 81 % до 89 %; на территории цеха — от 6 %; на территории предприятия — от 5 % до 6 %.

Исследования распределения НС в КПП по количеству часов от начала работы в указанные годы (табл. 2, рис. 3, 4) показывают, что во всех исследованных годах число НС растёт от начала работы до двух часов смены — в так называемый период вработывания.

Затем, период с трёх часов до шести является в основном стабильным, за исключением небольших флуктуаций, а с шести до семи часов, по данным исследований, резко возрастает и после семи часов от начала смены стремительно падает. Таким образом, всё время рабочей смены в КПП можно разделить на пять отрезков с точки зрения распределения НС по количеству часов от начала работы, которыми являются: рост количества НС; уменьшение; стабилизация; рост; заключительный отрезок снова характеризует падение числа НС в последний час смены.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Таблица 2

Распределение НС в КПП по количеству часов от начала работы до НС по часам

Количество часов от начала работы до НС	Общее количество травм среди мужчин			Общее количество травм среди женщин			Общее количество травм в КПП		
	1985	1987	1989	1985	1987	1989	1985	1987	1989
Меньше 1 часа	10	10	14	4	5	2	14	15	16
1 час	17	16	14	5	3	3	22	19	17
2 часа	22	29	22	7	5	2	29	34	24
3 часа	15	10	14	3	6	4	18	16	18
4 часа	17	18	8	3	4	3	20	22	11
5 часов	21	20	11	1	2	4	22	22	15
6 часов	17	13	14	4	3	1	21	16	15
7 часов	22	20	17	5	6	3	27	26	20
Больше 7 часов	2	6	7	0	0	1	2	6	8
Всего	143	142	121	32	34	23	175	176	144

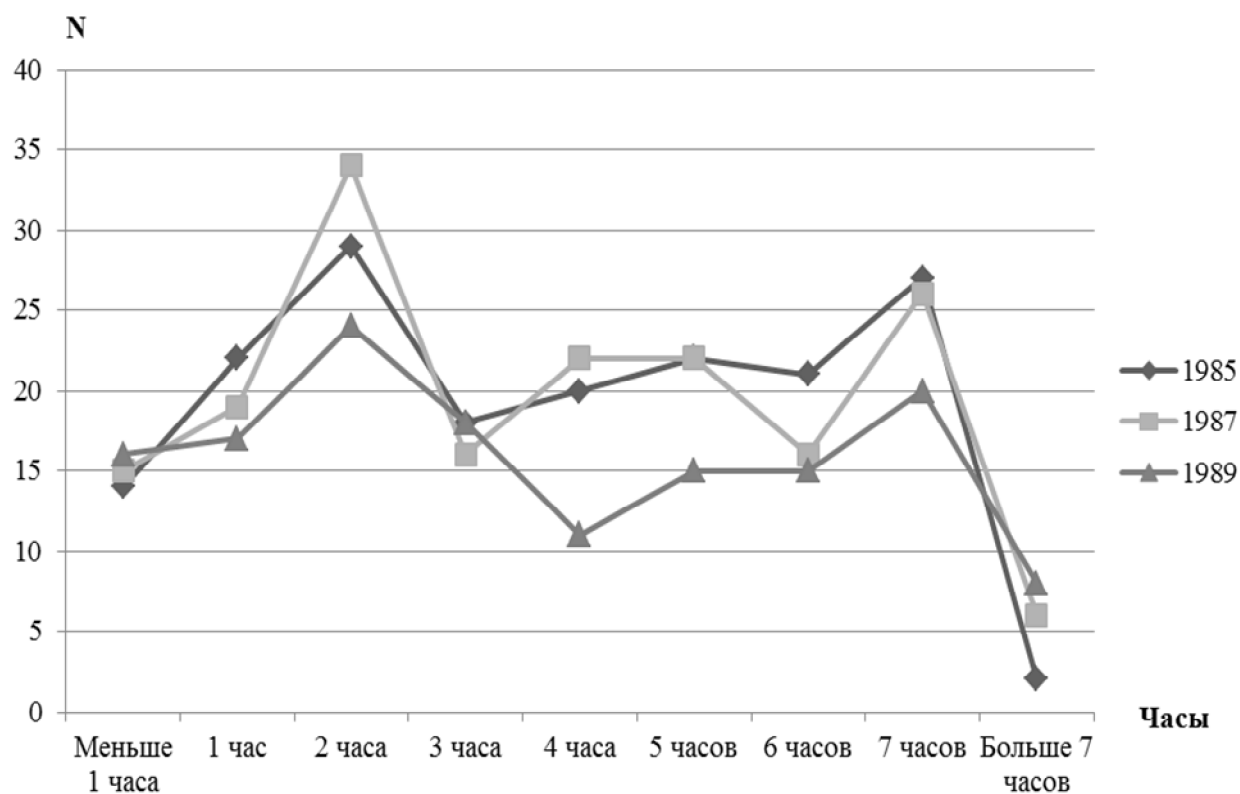


Рисунок 3 Распределение НС в КПП по количеству часов от начала работы до НС по годам

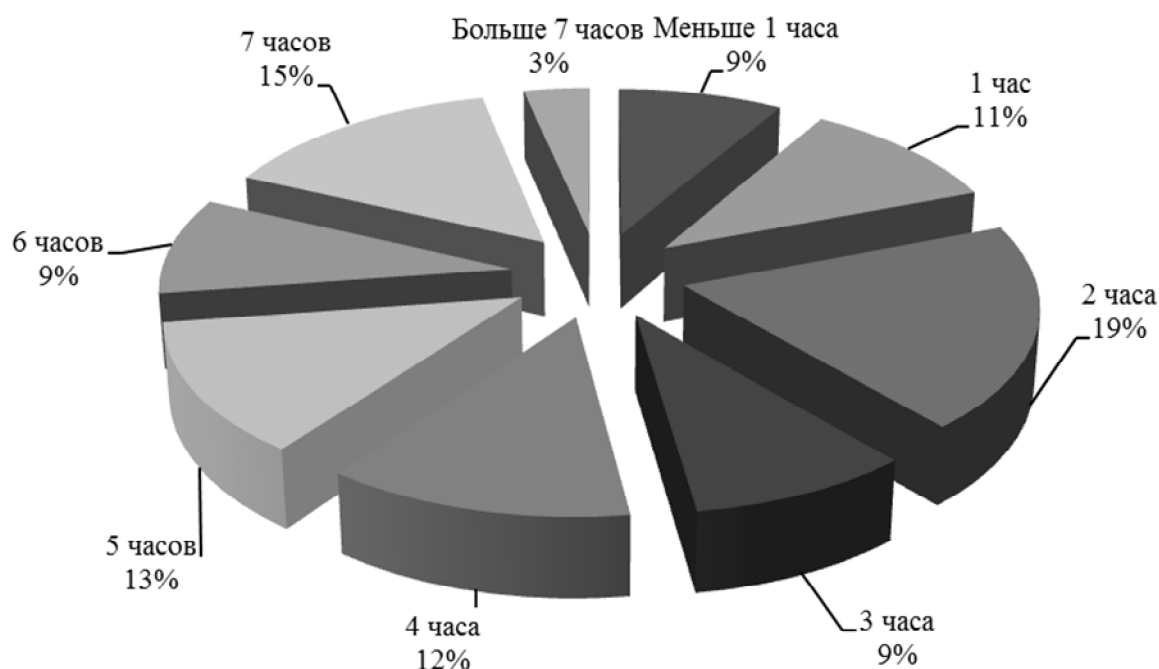


Рисунок 4 Распределение НС в КПП по количеству часов от начала работы до НС в 1987 г.

Выводы. Исследованием характера распределения НС в КПП по месту происхождения установлено, что его максимальные показатели связаны с рабочим местом (от 81 % до 88 % всех НС), а это вместе с теоретическими наработками подтверждает необходимость использования «дерева отказов» и «дерева рисков» в математической модели определения производственного риска на РМ в КПП.

Показано, что распределение НС в КПП по количеству часов от начала работы является постоянным в начале смены (от 14 до 16 НС), продолжает расти до максимального

значения между вторым и третьим часом (от 24 до 29 НС), затем уменьшается и стабилизируется (от 16 до 18 НС), за исключением небольших флуктуаций между тремя-четырьмя до шести-семи часов, после которых снова увеличивается до 20...27 НС и затем до конца смены сходит до 2...8 НС. То есть весь промежуток рабочего времени имеет три пиковые величины количества НС, из которых две имеют максимальное значение между вторым и третьим и, соответственно, шестым-седьмым часом, а одна является минимальной — в конце смены после семи часов от начала работы.

Бibliографический список

1. Kasyanov, N. Development of simulation methods for labour protection status indicators [Text] / N. Kasyanov, O. Gunchenko, D. Vyshnevskyy // TEKA Com. Mot. i Energ. Roln. — OL PAN, Lublin-Lugansk, 2010. — Vol. XA. — P. 234–242.
2. Проблеми стану і необхідності вдосконалення системи управління охороною праці в галузі машинобудування [Текст] / М. А. Касьянов, В. О. Медяник, О. М. Гунченко, Д. А. Вишневецький // Вісник Східноукр. нац. ун-ту. — 2008. — № 6 (124), ч. 2. — С. 3–9.
3. Гогіташвілі, Г. Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами [Текст] : навч. посіб. / Г. Г. Гогіташвілі, Є. Т. Карчевські, В. М. Лапін. — К. : Знання, 2007. — 367 с.
4. Білостоцька, В. О. Застосування критерію середнього ризику для оцінки структурних зрушень у кількості нещасних випадків [Текст] / В. О. Білостоцька, А. О. Водяник // Вісник ННДІОП. — К., 2002. — № 4. — С. 14–17.

5. Вишневский Д. А. Экспериментальные исследования распределения количества несчастных случаев (НС) в кузнечно-прессовом производстве (КПП) [Текст] / Д. А. Вишневский // Сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Прогрессивные технологии и процессы». — Курск, 2018. — С. 53–58.

© Вишневский Д. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. ТМиК ЛНУ им. В. Даля Витренко В. А.

Статья поступила в редакцию 13.11.18.

к.т.н. Вишневський Д. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НЕЩАСНИХ ВИПАДКІВ В КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЗА МІСЦЕМ ПОДІЇ І ЗА ЧАСОМ ВІД ПОЧАТКУ РОБОТИ

Проведено аналіз характеру розподілу нещасних випадків (НВ) в ковальсько-пресовому виробництві (КПВ) за місцем події. Встановлено, що його максимальні показники пов'язані з робочим місцем (від 81 % до 88 % всіх НВ).

Показано, що розподіл НВ в КПВ за кількістю годин від початку роботи має три пікові величини, з яких дві мають максимальне значення між другим і третім і, відповідно, шостим-сьомим часом, а одна є мінімальною — наприкінці зміни після семи годин від початку роботи.

Ключові слова: ковальсько-пресове виробництво, травматизм, нещасний випадок, робоче місце, ризикоутворюючі причини, людський фактор.

PhD Vishnevskiy D. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

STUDY THE ACCIDENTS DISTRIBUTION IN THE PRESS-FORGING PRODUCTION AT THE SCENE AND THE TIME PERIOD FROM THE BEGINNING OF THE WORK

The analysis of the nature has been carried out for the accidents (Acc) distribution in the press-forging production (PFC) at the scene. It is determined that its maximum rates are related to the workplace (from 81 % to 88 % of all Acc).

It is shown that the Acc distribution in the press-forging production by the number of hours from the beginning of the work has three peak values, of which two have the maximum value between the second and the third and, accordingly, the sixth-seventh hour, and one is the minimum — at the end of the seven hours shift.

Key words: forge and press production, injuries, accident, workplace, risk-forming reasons, human factor.

УДК 629.771.23

к.т.н. Жильцов А. П.,
к.ф.-м.н. Харитоненко А. А.
(ЛГТУ, г. Луганск, Россия, kaf-mo@stu.lipetsk.ru)

ФОРМИРОВАНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ПРИ НАМОТКЕ ПОЛОСЫ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Проведено исследование колебаний натяжения на всех участках непрерывного стана от разматывателя до моталки. Представлены характеристики колебаний натяжения. Приведены результаты спектрального анализа кривых изменения натяжения. Разработана динамическая модель формирования натяжения полосы при намотке, включающая в себя модель движения рулона в вертикальной плоскости и деформации полосы.

Ключевые слова: тонколистовая прокатка, непрерывный стан, натяжение, моталка, колебания, динамика.

Введение. Переднее и заднее натяжения полосы при прокатке оказывают существенное влияние на энергосиловые параметры в очаге деформации, геометрию и форму проката. Так, для широкополосных станов горячей прокатки важным является оценка влияния технологических и конструктивных параметров и технического состояния оборудования на динамические нагрузки, влияния взаимодействия клетей на межклетевые усилия и продольную разнотолщинность [1]. Особенно важным влияние натяжения на качество проката является для тонколистовых станов холодной прокатки, качество продукции которых оценивается жёсткими допусками по геометрии и планшетности. Требуемые значения и стабильность показателей качества обеспечивают соответствующие системы автоматического регулирования.

Экспериментальная часть. Для большинства непрерывных станов холодной прокатки характерным при обеспечении натяжения является наличие начального этапа намотки продолжительностью 30–60 секунд, в течение которого режим натяжения от повышенных значений снижается до среднего значения, которое в дальнейшем остаётся постоянным. Вместе с тем наблюдается существенная нестабильность и колебательный характер изменения натяжения в межклетевых промежутках и за послед-

ней клетью, характер изменения натяжения меняется также по длине рулона [2, 3, 4].

Колебания натяжения имеют квазистационарный характер и представляют полигармонический процесс со значимыми частотами в диапазоне до 10 Гц, при этом наибольшей мощностью в спектре обладают угловые частоты рабочих и опорных валков, смежных с межклетевым промежутком, а также моталок.

Для первых двух межклетевых промежутков максимальная мощность соответствует угловой частоте рабочих валков предыдущей клетки, а для последних двух — угловой частоте вращения опорных валков последующей клетки.

Для последнего межклетьевого промежутка максимальную мощность в спектре колебаний натяжения составляет частота, соответствующая угловой частоте моталки. То есть возмущение от моталки проходит через очаг деформации последней клетки непрерывного стана. В этом случае можно предположить, что для последней клетки основным возмущением переднего натяжения является нестабильность положения рулона вследствие деформации барабана моталки (прогиба) и его вращений в деформированном состоянии вместе с наматываемым рулоном. Возникающие при этом деформации полосы между моталкой и прокатной клетью обуславливают изменения натяжения.

Для стабилизации качества полосы необходимо стабилизировать натяжение между последней клетью стана и моталкой. Намотка полосы осуществляется на барабан, конструктивно представляющий собой вращающуюся консольную балку, что обусловлено необходимостью снятия рулона с барабана в осевом направлении, при этом под действием нагрузок (вес рулона и натяжение полосы) барабан моталки прогибается.

При вращении изогнутого барабана рулон перемещается относительно геометрической оси по сложной траектории, параметры которой зависят от приложенных нагрузок: массы рулона, упругих характеристик барабана, полосы и опор.

Изменение фактического положения рулона относительно геометрического центра приводит к изменению деформации полосы между рулоном и последней клетью стана, удельного и полного натяжения. Очевидно, что деформация полосы определяется параметрами траектории движения рулона и барабана как динамической системы, физическая модель которой приведена на рисунке 1 и представляет собой материальную точку массой m на упругих горизонтальной и вертикальной опорах с жёсткостями K_H и K_B , движущуюся под действием сил: G (вес рулона), T (натяжение полосы) и вращающейся со скоростью ω центробежной силы F .

Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{G}{m} - \frac{k}{m} \cdot x - \frac{c}{m} \cdot \frac{dx}{dt} + \omega^2 r \cos \omega t; \\ \frac{d^2 y}{dt^2} = -\frac{k}{m} \cdot y - \frac{c}{m} \cdot \frac{dy}{dt} + \omega^2 r \sin \omega t, \end{cases}$$

где $r = \frac{1}{m} \sqrt{x^2 + y^2}$.

Решение системы уравнений осуществляли методом Рунге – Кутты в программной среде Mathcad. Расчётные траектории движения рулона при $m=30$ т, $\omega=35$ рад/с, $T=10$ кН и различных начальных условиях представлены на рисунке 2.

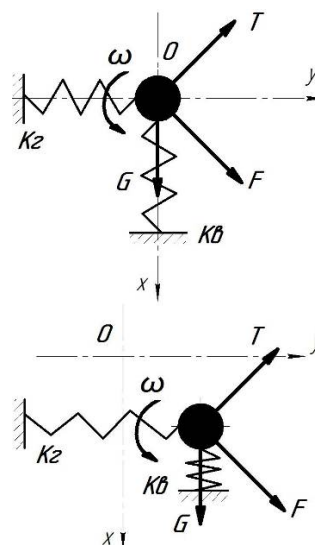
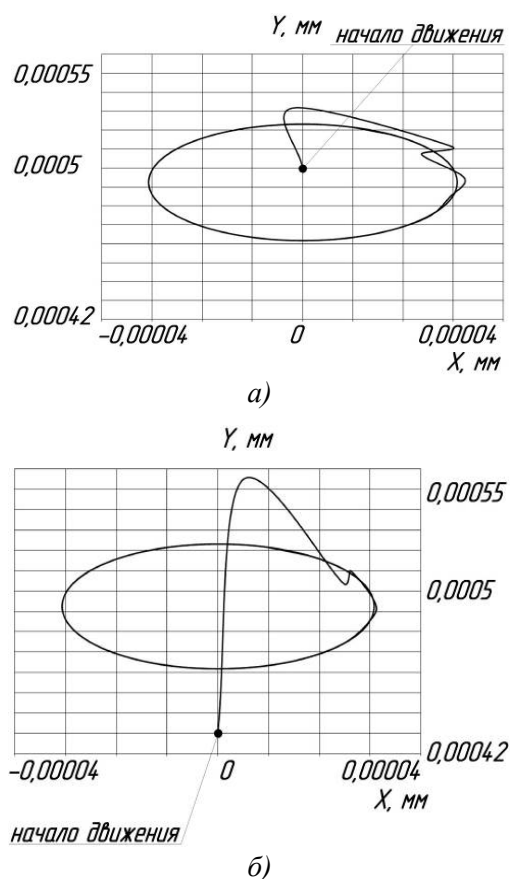


Рисунок 1 Механическая модель движения центра тяжести рулона



Начальные условия:
а) $x_0=0,5 \cdot 10^{-3}$, $v_x^0=0$, $y_0=0$, $v_y^0=17 \cdot 10^{-3}$;
б) $x_0=0,43 \cdot 10^{-3}$, $v_x^0=0$, $y_0=0$, $v_y^0=8 \cdot 10^{-3}$

Рисунок 2 Расчётные траектории движения рулона

Установлено, что в обоих случаях совершаемые движения выходят на предельный цикл с одинаковыми параметрами. Характер движения рулона по осям X и Y, соответствующий предельному циклу, представлен на рисунке 3.

В настоящее время на ряде современных тонколистовых станов холодной прокатки применяется схема, конструктивно представляющая собой контропору, в виде 2-х роликов, подводимых к свободному концу барабана во время смотки рулона с помощью гидроцилиндров (рис. 4). Такая схема позволяет частично уменьшить прогиб барабана с рулоном. Кроме этого, применение гидравлического цилиндра приводит к необходимости рассматривать опору консоли как упругую (податливую), но, так как жидкость в гидроцилиндре не воспринимает растягивающих нагрузок, опора эта односторонняя, работающая только на сжатие. Конструкция опоры обуславливает различия жёсткости в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

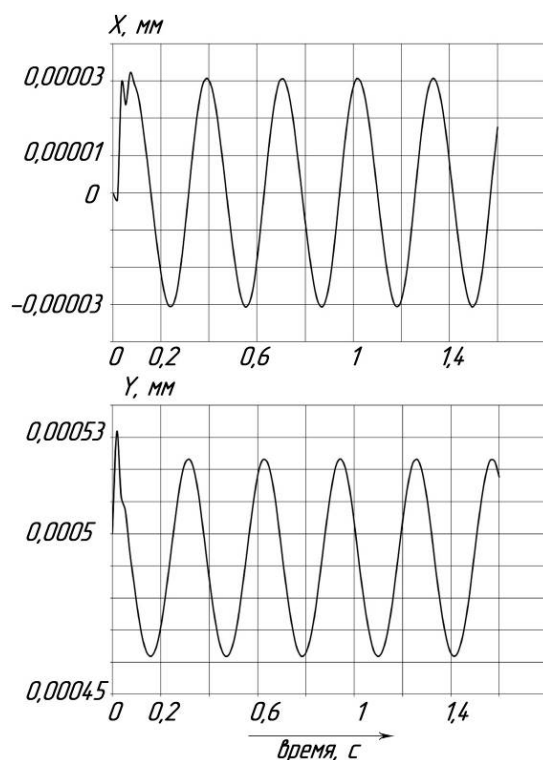


Рисунок 3 Изменения координат X и Y для предельного цикла движения

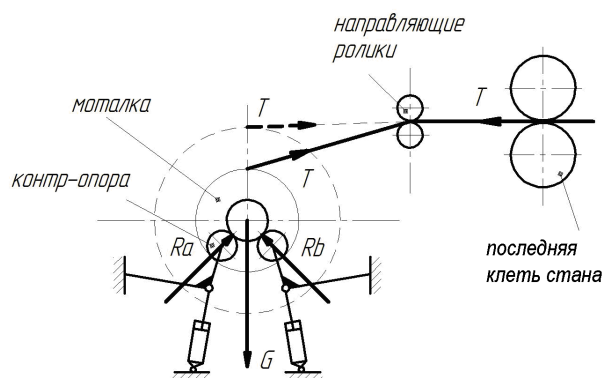


Рисунок 4 Конструкция моталки с контропорами

Натяжение полосы является следствием её деформации между моталкой и последней клетью стана и в расчётной динамической модели может быть представлено упругим элементом, который работает только на растяжение, так как при действии сжимающих нагрузок тонкая полоса теряет устойчивость.

Для определения связи натяжения в полосе с положением рулона была построена геометрическая модель намотки полосы на моталку (рис. 5, а). В данной модели приняты следующие упрощения: точки касания полосы с рулоном и с направляющими роликами находятся на вертикальной оси рулона, а в ходе намотки рулон смещается относительно оси вращения и в результате смещается точка касания (рис. 5, б). При этом деформация полосы равна

$$\Delta l = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \cos(\beta - \alpha),$$

где α — угол наклона полосы к первоначальной точке касания, принятый постоянным.

Выражая угол β через геометрические размеры, после преобразования получили

$$\Delta l = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{xL - y(H - R)}{1 + (L + y) + (H - R)^2 + x(H - R)} \right)^2}},$$

$$\Delta T = S \cdot E \cdot \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{l_0} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{xL - y(H - R)}{1 + (L + y) + (H - R)^2 + x(H - R)} \right)^2},$$

где S — площадь сечения полосы; E — модуль упругости стали; H и L — расстояния между осями барабана моталки и направляющих роликов; R — радиус рулона; x и y — смещение рулона по осям; l_0 — длина полосы, принятая постоянной.

Полное натяжение равно

$$T = T_0 + \Delta T,$$

где T_0 — натяжение в начале намотки.

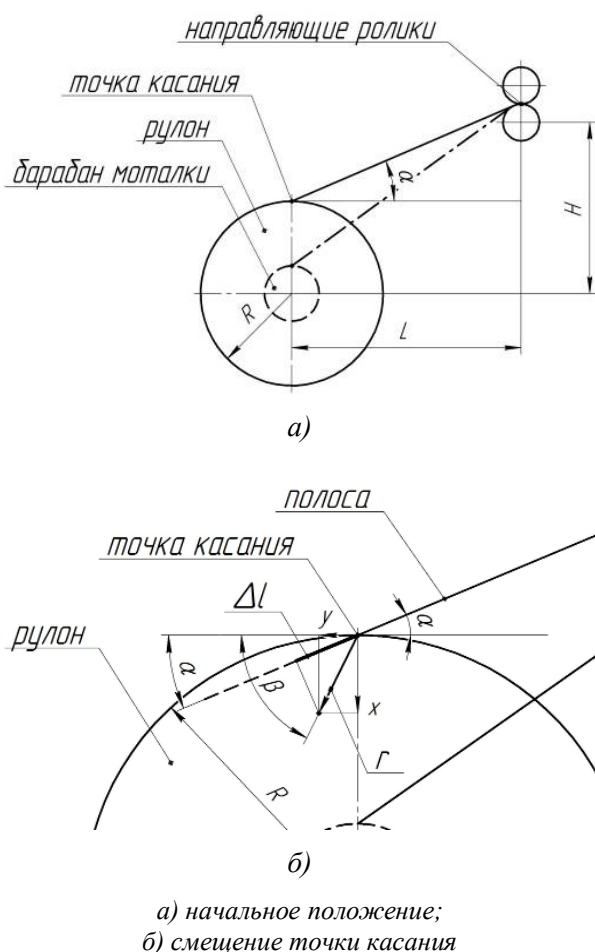


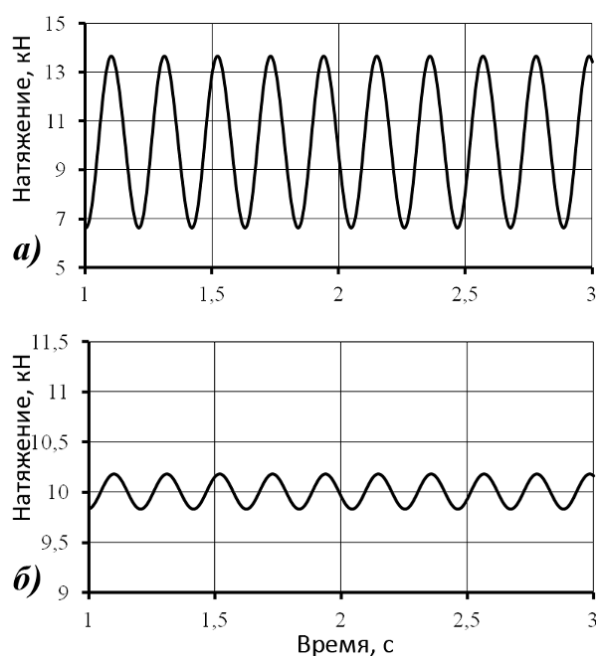
Рисунок 5 Геометрическая модель намотки полосы

Используя полученное выражение, определили натяжение в полосе между последней клетью и моталкой со свободным концом барабана (рис. 6, а) и с абсолютно жёсткой опорой (рис. 6, б).

Для обоих случаев разными являются только коэффициенты жёсткости $k_1 = 5,5 \cdot 10^8$ Н/м и $k_2 = 25,14 \cdot 10^8$ Н/м, геометрические параметры и натяжение T_0 одинаковы. В случае с опорой величина натяжения имеет размах колебаний на порядок меньший по сравнению с безопорным барабаном.

Представленная на рисунке 7 осциллограмма натяжения получена для реальных данных.

При этом осуществлялось моделирование изменения натяжения в промежутке между барабаном моталки с податливой концевой опорой и последней клетью стана при прокатке полосы из стали 20пс $0,5 \times 1280$ мм. В качестве исходных параметров модели приняли: $T_0 = 17,4$ кН, $S = 640$ мм², $l_0 = 3$ м, $R = 950$ мм, $m = 5$ т, $k = 15 \cdot 10^8$ Н/м.



а) моталка со свободным концом барабана;
б) моталка с абсолютно жёсткой опорой

Рисунок 6 Натяжение полосы

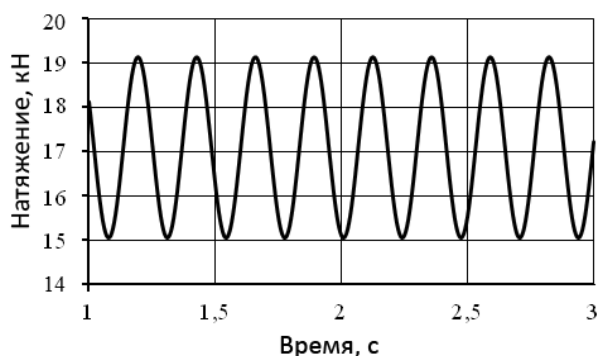


Рисунок 7 Оциллограмма натяжения, полученная моделированием для реального профиля

Выводы. Анализ изменения натяжения в промежутке между барабаном моталки и последней клетью стана показал, что характер изменения натяжения является периодическим с основной частотой, равной угловой частоте вращения барабана моталки, т. е. возмущения со стороны барабана моталки с податливой концевой опорой передаются в очаг деформации последней клетки с размахом до 4,2 кН. Это приводит к существенному изменению удельного натяжения в очаге деформации в пределах 22 % ($2,34 \div 3,0$ МПа) и необходимости учёта возмущений со стороны моталки при настройке технологических параметров последней клетки стана.

Библиографический список

1. Веренев, В. В. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680 [Текст] : монография / В. В. Веренев, В. И. Большаков и др. — Днепрпетровск : ИМА-пресс, 2011. — 184 с.
2. Маслов, Е. А. Алгоритм обработки информации о натяжении полосы для идентификации вибраций на станах бесконечной прокатки на основе вейвлет-преобразования [Текст] / Е. А. Маслов, К. А. Харахнин, А. В. Кожеевников // Производство проката. — 2010. — № 10. — С. 36–39.
4. Сеницкий, В. М. Стальная полоса в межвалковом пространстве стана холодной прокатки как колебательная структура [Текст] / В. М. Сеницкий, Ю. В. Рыбаков // Производство проката. — 2002. — № 5. — С. 18–20.
5. Усов, С. В. Математическое моделирование процесса намотки тонкой стальной полосы в рулон [Текст] / С. В. Усов, В. Н. Мещеряков // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2014. — Вып. 10. Ч. 2. — С. 157–162.

© Жильцов А. П.

© Харитonenко А. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. ТМ ЛГТУ Козловым А. М.,
к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.

Статья поступила в редакцию 12.10.18.

к.т.н. Жильцов О. П., к.ф.-м.н. Харитonenко А. А. (ЛДТУ, м. Липецк, Россия,
kaf-mo@stu.lipetsk.ru)

ФОРМУВАННЯ НАТЯГУ ПРИ НАМОТУВАННІ СМУГИ В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Проведено дослідження коливань натягу на всіх ділянках безперервного стану від розмотувача до моталки. Представлено характеристики коливань натягу. Наведено результати спектрального аналізу кривих зміни натягу. Розроблено динамічну модель формування натягу смуги при намотуванні, що включає в себе модель руху рулону у вертикальній площині і деформації смуги.

Ключові слова: тонколистова прокатка, безперервний стан, натяг, моталка, коливання, динаміка.

PhD Zhiltsov A. P., PhD in Physical and Mathematical Sciences Kharitonenko A. A. (LSTU, Lipetsk, Russia, kaf-mo@stu.lipetsk.ru)

FORMATION OF TENSION WHILE WINDING THE STRIP UNDER THE DYNAMIC LOADING CONDITIONS

The study of tension oscillations has been conducted in all areas of the continuous rolling mill from the decoiler to the winder. The characteristics of tension oscillations are presented. The results of the spectral analysis of the tension change curves are given. There has been developed the dynamic model of the strip tension formation while winding, that includes a model of the winder motion in a vertical plane and the strip deformation.

Key words: thin-strip rolling, continuous mill, tension, winder, oscillations, dynamics.

УДК 669.02/09.004.15:331.461

к.т.н. Вишневский Д. А.,
Сахаров Б. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ «ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА» НА НАДЁЖНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Проведён анализ влияния «человеческого фактора» на надёжность металлургического оборудования. Предложена методика профессионального отбора как начального этапа разработанных мероприятий по контролю «человеческого фактора». Даны рекомендации по внедрению на производстве мотивационных механизмов управления человеческими ресурсами.

Ключевые слова: человеческий фактор, надёжность металлургического оборудования, профессиональный отбор, мотивационные механизмы управления человеческими ресурсами, профессиограммы.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Важнейшим элементом технологического процесса является надёжность, которую по ГОСТ 27.002-89 [1] называют свойством объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, ремонтов, хранения.

По причинам возникновения отказов выделяют:

- отказы вследствие конструктивных дефектов;
- отказы вследствие технологических дефектов;
- отказы вследствие эксплуатационных дефектов;
- отказы вследствие постепенного старения (износа);
- отказы в результате влияния человеческого фактора (в том числе нарушения трудовой дисциплины).

Любой из этих видов отказов приводит к снижению ресурса работы, увеличению материальных затрат на изготовление и эксплуатацию изделия. Если некоторых отказов на данный момент избежать нельзя, то снизить риск их появления в результате влияния «человеческого фактора», который представляет совокупность интеллектуаль-

ных, физиологических, эмоциональных, волевых, мотивационных и других качеств личности, обеспечивающих безошибочное, своевременное и адекватное восприятие сложившейся ситуации, выполнение предписанных функций в определённых режимах работы человека с другими людьми и техникой в процессе выполнения трудовых обязанностей, вполне возможно.

Анализ состояния вопроса. Исходя из статистических данных аварий и отказов металлургического оборудования было выявлено, что большой процент составляет «человеческий фактор» или «человеческий отказ». Низкое качество усвоения профессии может приводить к ошибочным действиям, чреватых необратимыми последствиями, к большим финансовым издержкам как для самого предприятия, так и для государства в целом. Международная организация труда оценивает убытки по причине «человеческого фактора» в 200 млрд долларов ежегодно. Обеспечение предприятия надёжными кадрами должно быть приоритетным наряду с задачами технической модернизации и переоснащения производства.

Анализ причин аварий, выхода из строя оборудования и производственного травматизма на производстве показал, что в подавляющем большинстве несчастные ситуации происходят не из-за технических неисправностей, а из-за неудовлетвори-

тельной организации производства работ, в том числе выраженного психологического компонента. Для понимания и управления данной ситуацией необходимо учитывать два аспекта:

- причины ошибочных действий персонала;
- способы влияния на аварийные ситуации [2].

Известно, что труд оперативного персонала металлургических предприятий достаточно тяжёлый, связан с реальной угрозой для жизни, сопровождается физическим перенапряжением, переутомлением, стрессами, которые связаны с условиями труда, местом работы, видом деятельности, влиянием на работника особенностей той организации, в которой он трудится. К причинам профессионального стресса относятся: необходимость в мобилизации человеческих усилий, высокая концентрация внимания для выполнения поставленных задач, большая ответственность за каждое действие и принимаемое решение [3].

Любые изменения требований к персоналу, к его оперативности и интенсивности труда, переход к новым технологиям, их освоение и переподготовка работников, любые организационные изменения и нововведения воспринимаются на любом предприятии как организационный стресс. Стрессом могут стать как эволюционные изменения, неизбежные для развития предприятия, так и неопределённость в завтрашнем дне, неуверенность персонала в себе, своих действиях. К субъективным причинам и проявлениям организационного стресса относятся страхи: не справиться с работой, допустить ошибку, потерять работу и пр. Риски ошибочных действий по причине «человеческого фактора» увеличиваются особенно в ситуациях неопределённости, например, в период реструктуризации компании, при социально-экономических и политических изменениях в стране, когда увеличиваются нервно-психические и информационные нагрузки, растёт конкуренция и обостряется борьба

за рабочие места, рынки сбыта и пр. Кроме того, на любого человека накладывают отпечаток непродуманные стрессы, например в семье.

Личностный стресс связан с негативными установками и убеждениями, верованиями и мировоззрением, психологическими позициями и ценностными ориентациями. Факторов стресса существует достаточно много, а накопившееся напряжение может приводить к профессиональному выгоранию или синдрому «хронической усталости», который охватывает физиологические, поведенческие, психологические и социальные компоненты. Как следствие, персоналом допускаются ошибочные действия, приводящие к аварийным ситуациям, несчастным случаям и производственным травмам. Основными симптомами накопившегося стресса могут быть:

- игнорирование правил техники безопасности;
- ухудшение качества производственных работ;
- раздражительность, нервозность, агрессивность;
- беспокойство, суетливость, повышенная тревожность;
- высокая конфликтность;
- неудовлетворённость работой;
- потеря концентрации внимания и рост числа ошибок;
- поиск оправданий вместо решения поставленных задач;
- общая негативная установка на жизненные перспективы;
- вредные привычки и злоупотребление ими.

Особенностью трудовой деятельности в современных условиях является значительное усложнение управления технологическими процессами и связанная с этим необходимость исполнения человеком новых требований, норм и правил, обязанностей и ожиданий [4]. Соотношение развития техники и роста возможностей человека-оператора приведено на рисунке 1.

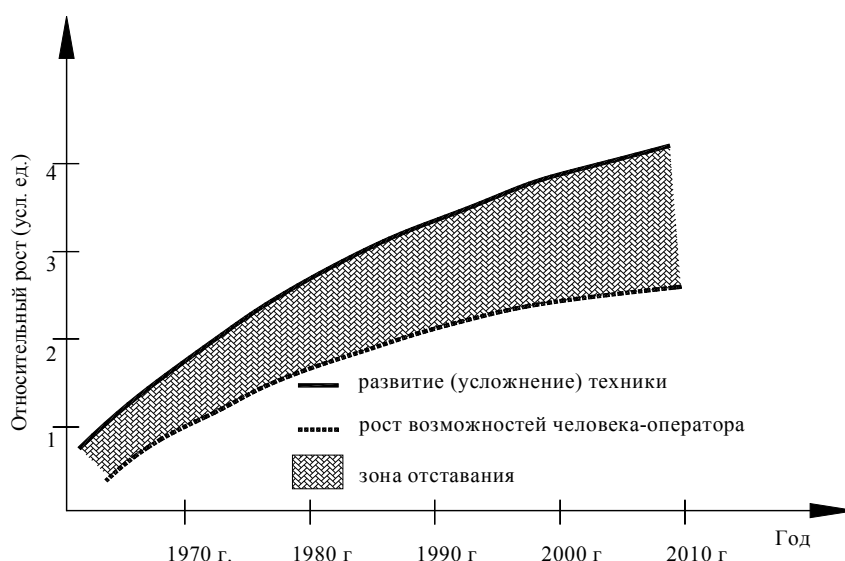


Рисунок 1 Схематическое изображение соотношения развития (усложнения) техники и роста возможностей человека-оператора

К примеру, деятельность оператора поста управления (ПУ) заключается в наблюдении за подачей металла в валки, ведением режима его обжаты и управлением процессами прокатки различных агрегатов. Операторы ПУ управляют всеми технологическими процессами прокатного производства и контролируют работу оборудования, наблюдая за показаниями цифровых табло и сигнальных ламп, регулируют работу производственных линий.

Наиболее сложными функциями являются перевод информации (сигнала) в образ реального процесса и принятие решения об изменении условий производства. Специалисты регулируют режимы работы и температуры прокатного оборудования. Важным является отслеживание соблюдения норм безопасности, обеспечения сохранности и бесперебойности работы обслуживаемых механизмов.

Следовательно, основными качествами, необходимыми для выполнения профессиональных обязанностей, будут являться концентрация и переключение внимания, логическое мышление, скорость реакции, кратковременная память и особенности характера личности. В числе факторов (рис. 2), от которых зависит вероят-

ность совершения ошибок в работе, что, в свою очередь, определяет надёжность работника, называются:

- долговременные медицинские и психофизиологические характеристики личности, состояние здоровья, тип темперамента, устойчивость к негативным воздействиям, характер человека;
- сиюминутные медицинские и психофизиологические характеристики личности, его состояние здоровья на данный момент;
- наличие местных возбудителей;
- уровень образования и развития, культурный уровень личности;
- квалификация специалиста в области выполняемых им работ;
- комфортные условия работы;
- качество нормативно-технических и организационно-распорядительных документов (чёткость изложения, однозначность их понимания).

Перечень допускаемых человеком типичных ошибок не может быть точным и неоспоримым, поскольку свойство человека ошибаться является функцией его психофизиологического состояния, а частота появления ошибок во многом определяется состоянием внешней среды и интенсивностью действующих нагрузок.

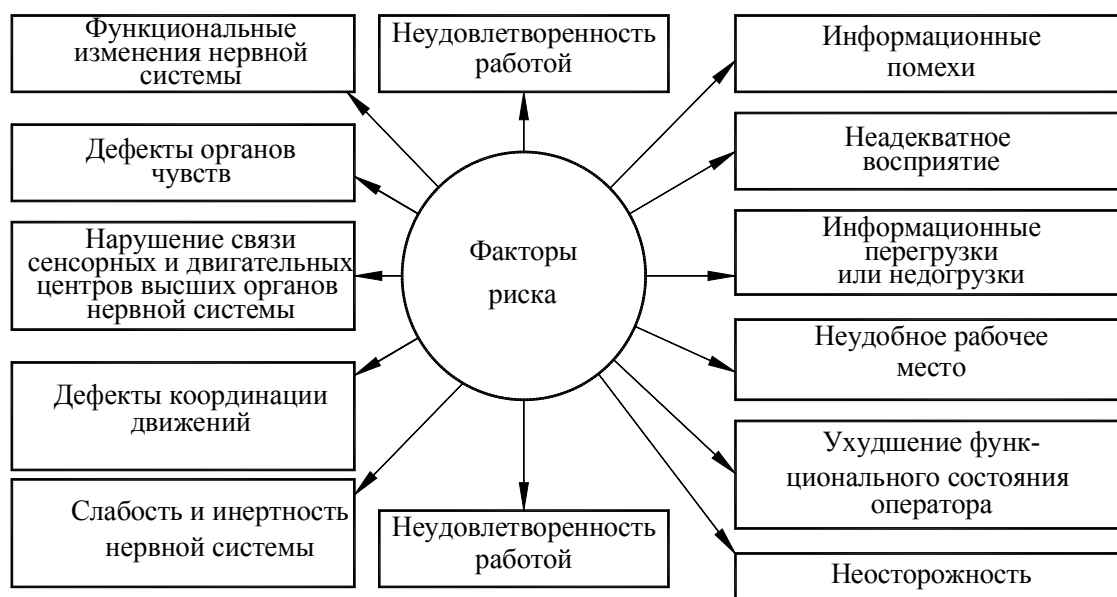


Рисунок 2 Факторы риска, способствующие возникновению чрезвычайной ситуации

Постановка задачи. Выполненный анализ показывает необходимость в разработке эффективных методик для контроля за «человеческим отказом».

Материалы и результаты исследования. Исходя из вышесказанного, важнейшее значение в обеспечении безопасности труда приобретает профессиональный отбор и формирование необходимых профессиональных качеств человека.

Профессиональный отбор представляет собой специально организуемое исследование, основанное на чётких качественных и количественных оценках, позволяющих не только выявить, но и измерить присущие человеку свойства с тем, чтобы сопоставить их с нормативами, определяющими пригодность к данной профессии.

При проведении профессионального отбора различают готовность и пригодность к работе по той или иной специальности. Профессиональная готовность определяется исходя из уровня образования, опыта и подготовки. Профессиональная пригодность устанавливается с учётом степени соответствия индивидуальных психофизиологических качеств данного человека к конкретному виду деятельности.

Для изучения профессионально важных качеств человека используют анкетный, аппаратный и тестовый методы.

Анкетный метод заключается в том, что с помощью определённым образом сформулированных и сгруппированных вопросов получают информацию о профессиональных интересах и некоторых свойствах человека. Анкеты бывают различных видов: самооценочные, когда испытуемый сам даёт оценку своих качеств, и внешне-оценочные, когда оценку даёт эксперт на основе обобщения данных, получаемых от лиц, длительное время наблюдавших за испытуемым.

Аппаратный метод состоит в том, что отдельные психофизиологические факторы выявляют и оценивают с помощью специально сконструированных приборов и аппаратуры. Наряду с приборами, обеспечивающими общее исследование психофизиологических свойств, на предприятиях конструируются установки, имитирующие тот или иной трудовой процесс. Они служат для определения наличия у испытуемого качеств, важных для работы, а также как тренажёры при обучении соответствующей профессии.

Тестовый метод располагает набором тестов, предлагаемых испытуемому, в процессе решения которых выявляются те или иные психофизиологические свойства. Этот метод сейчас активно используется за рубежом. Тесты делятся на следующие группы:

- тесты определения способностей, которые служат для установления общего уровня интеллекта, пространственного воображения, точности восприятия, психо моторных способностей;

- тесты проверки зрения и слуха, назначение которых вытекает из самого названия;

- личностные тесты, ставящие цель оценить такие качества, как импульсивность, активность, чувство ответственности, уравновешенность, общительность, осторожность, уверенность в себе, оригинальность мышления;

- тесты определения уровня квалификации (для проверки профессиональных навыков).

Исходным материалом для проведения работы по профессиональному отбору являются профессиограммы, которые составляются на соответствующие профессии на основе всестороннего изучения трудового процесса, проведения необходимых исследований, опроса самих работников, использования литературных источников. Немаловажную роль в профессиональной пригодности играет совместимость человека и техники. При этом учитывают антропометрическую совместимость, которая предполагает учёт размеров тела человека, возможности обзора внешнего пространства, положения (позы) оператора в процессе производственной деятельности. При решении этой задачи определяют объём рабочего места, зоны досягаемости для конечностей оператора, расстояние до приборного пульта и др.

В целях обеспечения безопасности деятельности размеры тела человека необходимо учитывать в следующих случаях:

- при определении оптимальной высоты от уровня пола или рабочей площадки зон наблюдения за работой механизмов, вклю-

чая зону обработки, органы настройки, приборы контроля и сигнализации;

- при расположении по высоте и фронту органов ручного управления машиной и особенно аварийных органов «стоп»;

- при выборе формы и размеров органов управления.

Важную роль при профессиональном отборе играет медицинский осмотр. Особое внимание при проведении медицинских осмотров уделяется учёту физических возможностей, антропометрических данных и психофизиологических данных (темперамент, способность к концентрации внимания, к восприятию большого объёма информации, реакция на внешнее воздействие, психологическая устойчивость и т. п.).

Тестирование перед приёмом на работу проводится с будущими операторами и диспетчерами сложных систем управления, ошибочные действия которых могут быть связаны с неправильным и неполным восприятием информации, её неверной обработкой. Операторы и диспетчеры сложных систем управления проходят тестирование на определение общего и структурно-логического объёма памяти, способности к концентрации внимания как одномоментной, так и в течение рабочего дня, в том числе при наличии разного рода неблагоприятных воздействий (звуковых, световых), способности к переключению внимания. Кроме того, применительно к ним проводят оценку избирательности внимания, выявляют склонность к принятию решений, связанных с риском. Оценка объёма памяти ведётся по таблицам, содержащим различную визуальную информацию (геометрические фигуры, наборы цифр, тексты), после ознакомления с содержанием которых испытуемый по возможности быстро воспроизводит эту информацию по памяти.

Применительно к травмоопасным производствам в качестве элемента профотбора рекомендуется выявление с помощью специальных тестов психического склада человека. Имеются данные, что уровень

травматизма среди холериков и меланхоликов выше, чем среди сангвиников.

Внедрение на производстве мотивационных механизмов управления человеческими ресурсами является одним из путей снижения влияния человеческого фактора на надёжность технологического процесса (ТП), в том числе за счёт повышения эффективности функционирования человека как элемента производственного процесса. Основным показателем оценки эффективности мотивационных механизмов управления человеческими ресурсами является эффективность их деятельности, которая определяется как отношение достигнутых фактически показателей деятельности персонала при осуществлении ТП к базисным значениям итоговых результатов деятельности персонала (относительно нормативного значения эффек-

тивности, которое всегда будет равно 100 баллам). Деятельность системы управления направлена на получение конечных результатов производства, поэтому эффективность этой системы можно рассматривать как результат её действия, обеспечивающий достижение правильных целей при минимальных затратах.

Для анализа необходимо представить показатели эффективного участия работников в производственном процессе, которые определяются многими факторами, включающими:

- материальное стимулирование;
- нематериальное стимулирование;
- моральное стимулирование.

Для более наглядного восприятия представим данную систему факторов мотивации для эффективного участия работников в производственном процессе в виде рисунка 3.



Рисунок 3 Показатели эффективного участия работников в производственном процессе

Рассмотрим некоторые из представленных факторов эффективного участия работников в производственном процессе.

Материальное стимулирование. Заработная плата является одним из главных элементов материальной мотивации, которая зависит от квалификации работников, их стажа и других показателей. Такое начисление премиальных выплат будет объективным и не повлечёт за собой ухудшения морального и психологического климата в коллективе, что будет также являться и моральным стимулированием работников. Использование методик оценки качества труда ориентирует персонал на выполнение поставленных перед ним задач, целесообразное использование имеющегося рабочего времени, улучшение трудовой и исполнительской дисциплины [5]. Благодаря использованию системы штрафов руководители предприятия смогут снизить количество брака и повысить качество производственного процесса.

Нематериальное стимулирование. Данный вид стимулирования трудовой деятельности очень важен на предприятии, так как благодаря его использованию работники предприятия будут чувствовать свою причастность к организации. Качество ТП напрямую связано с работоспособностью работников. А на работоспособность в первую очередь влияет качество производственной

среды, организация рабочего места. Для оценки обучения необходимо применять методики оценки результатов трудового процесса, которые направляют персонал на достижение конечных, итоговых результатов деятельности производственного процесса. Снижения затрат и расхода ресурсов выступают в качестве главных оценочных показателей их деятельности и создаются всем трудовым коллективом предприятия.

Моральное стимулирование. Весьма важной в этой группе факторов является передача (делегирующее) ответственности посредством работы с личным клеймом, размещение фотографии работника на доске почёта и др.

Выводы. По результатам проведённого анализа были определены факторы риска, негативно влияющие как на надёжность технологического процесса, а вследствие и на металлургическое оборудование, так и на снижение КПД на производстве в целом посредством влияния человеческого фактора. Анализ позволил определить пути повышения надёжности технологического процесса и разработать мероприятия для минимизации негативного влияния человеческого фактора как на сам процесс, так и на надёжность металлургического оборудования посредством профессионального отбора и внедрения на производство мотивационных механизмов управления человеческими ресурсами.

Библиографический список

1. ГОСТ 27-002-89. Надёжность в технике. Основные понятия, термины и определения [Текст]. — Введ. 1990-07-01. — М. : Изд-во стандартов, 1989. — 9 с.
2. Вишневский, Д. А. Расчёт надёжности металлургического оборудования и производственного риска [Текст] / Д. А. Вишневский // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2017. — Вып. 7 (50). — С. 139–146.
3. Вишневский, Д. А. Расчёт надёжности оборудования и производственного риска причинения вреда здоровью кузнеца-штамповщика [Текст] / Д. А. Вишневский // Современная техника и технологии : проблемы, состояние и перспективы : материалы V всероссийской научно-практической конференции. — Рубцовск : индустр. ин-т (филиал) ФГБОУ ВПО «Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова», 2015. — С. 103–111.
4. Либерман, А. Н. Техногенная безопасность : человеческий фактор [Текст] / А. Н. Либерман. — Санкт-Петербург : Изд-во «ВИС», 2006. — 103 с.
5. Егоршин, А. П. Мотивация трудовой деятельности [Текст] : учебное пособие / А. П. Егоршин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : ИНФРА-М., 2008. — 464 с.

© Вишневский Д. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А., д.т.н., проф., зав. каф. ТМиИК ЛНУ им. В. Даля Витренко В. А.

Статья поступила в редакцию 08.11.18.

к.т.н. Вишневський Д. О., Сахаров Б. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ «ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРА» НА НАДІЙНІСТЬ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Проведено аналіз впливу «людського фактора» на надійність металургійного обладнання. Запропоновано методику професійного відбору як початкового етапу розроблених заходів з контролю «людського фактора». Дано рекомендації щодо впровадження на виробництві мотиваційних механізмів управління людськими ресурсами.

Ключові слова: «людський фактор», надійність металургійного обладнання, професійний відбір, мотиваційні механізми управління людськими ресурсами, професіограми.

PhD Vishnevskiy D. A., Sakharov B. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

ANALYZING THE INFLUENCE OF "HUMAN FACTOR" ON RELIABILITY OF THE METALLURGICAL EQUIPMENT

The analysis of influence of "human factor" on reliability of the metallurgical equipment has been carried out. The technique of professional selection as the initial stage of the developed measures for the "human factor" control is proposed. The recommendations on the implementation of motivational mechanisms of human resources management in the production are given.

Key words: "human factor", reliability of metallurgical equipment, professional selection, motivational mechanisms of human resources management, professiograms.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

**ІНФОРМАЦІЙНІ
МАТЕРІАЛИ**

**INFORMATION
MATERIALS**

УДК 622.02:539.2/8.001.5

Профессор ЛИТВИНСКИЙ ГАРРИ ГРИГОРЬЕВИЧ

*80-летний юбилей,
65 лет трудовой,
55 лет научной и
50 лет педагогической деятельности*



Известный учёный в области механики горных пород, физики горных процессов, создания новой горной техники и технологии, доктор технических наук (1988), профессор (1989), Заслуженный деятель науки и техники Украины (1991), Заслуженный изобретатель СССР, действительный член Академии строительства Украины и Академии горных наук, входит в состав редколлегий ряда научных изданий горной тематики. Был членом специализированных советов по защите докторских диссертаций в МГГУ (Москва), ДНТУ (Донецк), ДонГТУ, экспертом комиссии по горным наукам Министерства образования и науки Украины, членом Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Украины и др.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Родился 08.01.1939 г. в Воронеже в семье военнослужащего. Окончил с отличием горный техникум (г. Ростов-на-Дону, 1957), Донецкий политехнический институт (г. Донецк, 1962), аспирантуру (ДонУГИ, 1967), докторантуру (КГМИ, 1977). Как студент-отличник получал именную Ворошиловскую стипендию, проводил большую общественную работу: был членом райкома комсомола, членом бюро комитета комсомола ДПИ, председателем секции туризма-альпинизма института и др.

После института работал горным мастером в тресте «Донецкшахтопроходка» (1963), научным сотрудником в ДонУГИ (до 1969 г.), затем доцентом, профессором, зав. кафедрой «Строительные геотехнологии» ДонГТУ.

Кандидатскую диссертацию защитил в Донецком политехническом институте (1967), а докторскую диссертацию по специальностям «Физические процессы горного производства» и «Разработка месторождений полезных ископаемых» защитил в ИГТМ АН УССР (г. Днепрпетровск, 1988).

В процессе своей научной деятельности и как член учебно-методической комиссии Минобразования СССР посетил более 120 горных предприятий, шахт, рудников и карьеров Донбасса, Кривбасса, Кузбасса, Дальнего Востока, Казахстана, Грузии, Эстонии, Средней Азии, Якутии, Урала, Кольского полуострова, Польши, Чехии, Вьетнама и др.

В качестве эксперта и консультанта участвовал в комиссиях по расследованию аварий, несчастных случаев, экспертизе проектов, оказывал техническую помощь горнодобывающим предприятиям при внедрении новой техники и использовании результатов научных исследований.

Является автором около 370 научных работ (160 без соавторов), в числе которых 6 монографий, около 40 методических разработок для высшей школы. Имеет более 170 изобретений и патентов (70 без соавторов).

Экономическая эффективность научных разработок превышает 4–6 раз на единицу затрат, что доказывает их актуальность и полезность. При внедрении разработок получен экономический эффект, превышающий 6 млн руб. (в ценах 1991 г.).

Научные разработки отражены в нормативных документах союзного и республиканского уровня, внедрены во многих проектных организациях, включены в монографии и учебники, используются в учебном процессе при подготовке горных инженеров, магистров, аспирантов. Разработанные новые способы и средства управления устойчивостью горных выработок внедрены на 13 угольных шахтах Донецкого и Карагандинского бассейнов, использованы в проектах строительства и реконструкции 18 шахт.

Поддерживает научные связи с коллегами из России, Польши, Вьетнама, Болгарии, Канады, Югославии, Словакии и других стран. Полный кавалер знаков «Шахтёрская Слава» и «Шахтёрская доблесть», неоднократно награждён золотыми и серебряными медалями ВДНХ СССР и УССР и др., знаками «Победитель соцсоревнования», «Заслуженный изобретатель СССР», призами в номинациях за лучшее изобретение Украины и др.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ



16 лет — учащийся Ростовского-на-Дону
горного техникума



49 лет — защита докторской
диссертации



65 лет — профессор ДонГТУ



В своем рабочем кабинете (2015 г.)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1. Теоретические и фундаментальные исследования

1.1 Аналитическая теория прочности

Теория основана на критерии прочности в дифференциальной форме, вводит новые физически содержательные прочностные показатели материала (когезии сдвига, разрыва и параметр хрупкости). Впервые позволяет учитывать структурную нарушенность, трещиноватость, дефекты и микронеоднородность материалов (горных пород).

Главные отличительные свойства разработанной теории:

➤ доказательство отсутствия влияния промежуточной компоненты тензора напряжений на критерий прочности;

➤ вывод дифференциальных порождающих уравнений прочности на основе физически обоснованной новой механической модели сдвиговых трещин, на берегах которых действует не только сухое, но и *жидкостное* трение;

➤ вывод критериев разрушения из *дифференциальных* уравнений прочности в зависимости от структурного строения материала и наличия в нём трещинной повреждённости.

Аналитическая теория прочности была подтверждена экспериментальными данными разных авторов при испытаниях разнообразных горных пород в стабилометре.

Особенно важна роль новой теории прочности при переходе от эмпирических подходов к теоретическим при:

➤ развитии теории *механического резания* породных массивов резцами и шарошками исполнительных органов горных машин (комбайны, струги, буровые установки и пр.);

➤ создании теоретических основ *геомеханики подземного взрыва и бурения*, обосновании параметров ведения горноинженерных работ в подземных условиях и в карьерах;

➤ определении *критериев опасности* и коэффициентов запаса прочности для оползней, явлений суффозии, внезапных обрушений, обвалов и карстовых явлений, особенно выходящих на поверхность.

1.2 Реономная микромеханика разрушения

Разработана на основе последних достижений в области механики твёрдого тела: *кинетической* и *аналитической* теорий прочности, механики трещин и разрушения. Объясняет и предсказывает основные особенности механического поведения материала во времени путём решения системы *кинетических дифференциальных уравнений роста и залечивания* микродефектов. Объединяет с единых методических позиций теории ползучести и пластичности путём описания роста и залечивания микротрещин во времени.

Новым в ней является то, что на базе основных положений кинетической теории прочности впервые рассмотрены в подвижном взаимодействии процессы *образования, роста и залечивания* микродефектов во времени при произвольно заданной внешней нагрузке.

Впервые теоретически объяснены и созданы расчётные алгоритмы деформации при установившейся и неуставившейся *ползучести*; изменение компонентов тензора напряжений на разных стадиях *релаксации*; рассчитаны эффект Баушингера, эффект памяти Кайзера, показаны закономерности петель гистерезиса при нагрузке и разгрузке; открыто новое явление *фрагментации упругих напряжений* на различных площадках в теле под нагрузкой и раскрыт механизм «переползания» сдвиговых микродефектов во времени, что позволяет разработать принципиально новую теорию ползучести.

Реономная микромеханика, таким образом, способна охватить своим аналитическим аппаратом всё многообразие извест-

ных в настоящее время механических моделей поведения твёрдого деформируемого тела и дать надёжную теоретическую базу для разработки инженерных методов расчёта. Особенно ценным является возможность расчёта состояния материалов при **знакопеременных** нагрузках, в поле изменяющихся температур, при произвольных способах нагружения и разгрузки и в запредельном состоянии.

1.3 Структурная геомеханика неоднородных массивов

Разработаны теоретические основы структурной геомеханики материалов. В её рамках предложена новая физическая модель **масштабного эффекта**, основанная на теории сплошности. Главной новизной теории масштабного эффекта является логическое разделение понятий свойств массива и его структурного строения. При этом масштабный эффект трактуется как проявление структурных особенностей пространства, которые оказывают влияние на все его физические свойства, а не только на прочность, как трактовалось доньше.

В основу **структурной** геомеханики массивов положен понятийный аппарат **структурного блока** как минимального элемента массива, отражающего его строение, задаваемое каждой данной системой трещин. Для каждой системы неоднородностей существует свой структурный блок. Поэтому массив может содержать большое число структурных блоков, системно упорядоченных для разных видов неоднородностей.

Доказан важнейший принцип **линейной суперпозиции** различных систем неоднородностей, что позволяет давать описание структурного строения массивов и сред любой сложности. Раскрыта физическая сущность и закономерности изменения прочности структурно **неоднородных** массивов. Впервые показано, что с изменением **напряжённо-деформированного** состояния массива меняется и влияние масштабного фактора на прочность, что ранее не учитывалось.

Структурную геомеханику горных пород и массивов следует рассматривать как базовую науку при подготовке горных инженеров всех специальностей, а также как основу для оценки степени нарушенности и опасности ведения горных работ при добыче полезных ископаемых и при строительстве наземных и подземных объектов.

Разработанные аналитические подходы при постановке и решении задач структурной механики могут быть полезными не только в области горной геомеханики, но и для смежных научных направлений, которые развиваются в материаловедении: грунты и основания при строительстве сооружений, зернистые и неоднородные среды типа льда, фирнового снега, фанеры и слоистых стеклопластиков, в том числе металлы, бетоны и другие конструкционные материалы.

1.4 Новая теория проявлений горного давления (ПГД)

Аналитическими и экспериментальными исследованиями впервые сформулированы и обоснованы **две фундаментальные закономерности** потери устойчивости и разрушения пород вокруг выработок в процессе их формоизменения при движении фронта хрупкого разрушения.

Показано, что устойчивость выработки зависит не только от величины, но и от вида напряжённого состояния пород:

➤ **I фундаментальная закономерность I-ФЗ:** если разрушение пород вокруг выработки вызвано напряжениями растяжения, то процесс разрушения приводит к снижению их концентрации и, после формирования нового контура устойчивости, разрушение самопроизвольно останавливается;

➤ **II фундаментальная закономерность II-ФЗ:** при разрушении пород от сжатия распространение разрушения вызывает рост концентрации напряжений, это побуждает фронт хрупкого разрушения двигаться далее, что ведёт к снижению устойчивости, а далее — к завалу выработки.

Установлены причины и основные закономерности разрушения пород вокруг выработок по разным механизмам от напряжений сжатия и растяжения. Впервые доказан и объяснён **феномен множественности форм проявлений горного давления** в выработках и их принципиальные различия по развитию разрушения пород (вывалы, своды естественного равновесия, зоны запредельных деформаций и переходные формы).

Предложена **новая классификация ПГД**, основанная на установленных фундаментальных закономерностях и использовании особого классификационного критерия — **локального нормированного критерия разрушения (ЛНКР)**. Классификация учитывает исходное поле напряжений массива, взаимовлияние форм разрушения пород на различных участках контура выработки и позволяет уже на стадии проектирования предусматривать с достаточной степенью достоверности требуемые конструктивные параметры крепи и геомеханические параметры способов управления устойчивостью пород.

Решением неосесимметричного **класса упругопластических задач** о проявлениях горного давления вокруг выработок для идеально пластичных пород, сыпучих тел, а также для пород с запредельными деформациями установлены закономерности развития зон запредельного деформирования (ЗЗД) вокруг выработок с учётом возмущающего воздействия основных неосесимметричных факторов горного давления:

➤ **анизотропия и неоднородность** прочностных свойств горных пород, что позволяет учесть их структурное строение (слоистость, трещиноватость и пр.);

➤ **учёт массовых сил** в ЗЗД приводит к конгруэнтному сдвигу внешней границы ЗЗД вверх по направлению гравитации;

➤ **разнокомпонентность исходного поля напряжений** в массиве приводит к формированию внешней границы ЗЗД в виде эллипса, большая ось которого вытянута в направлении минимального главного напряжения в массиве;

➤ **некруговой контур выработки** заметно искажает форму внешней границы ЗЗД лишь при незначительном её развитии;

➤ **неравномерность отпора крепи** изменяет форму ЗЗД подобно некруговой форме выработки и поэтому малосущественна при больших радиусах ЗЗД.

Сравнительная оценка влияния неосесимметричных факторов на форму ЗЗД показала, что наибольшее влияние оказывает неравнокомпонентность исходного поля напряжений и обобщённая анизотропия прочностных свойств пород в окрестности выработки. Используя полученные закономерности, можно разрабатывать численные расчётные методы прогнозирования горного давления с реальным учётом всего многообразия влияющих факторов.

Впервые решены задачи формирования ЗЗД вокруг выработки с учётом возникающих по мере роста зоны разрушения радиально ориентированных неоднородностей при дилатансионном разупрочнении пород. Доказано, что деформации пород в процессе развития ЗЗД образуются в основном за счёт дилатансии разупрочнённых пород. Разработана математическая модель развития смещений пород внутри ЗЗД за счёт снижения их прочности во времени.

1.5 Основы геомеханики подземного взрыва

В настоящее время расчёты подземного взрыва ведутся в основном на эмпирической основе, начиная со знаменитой формулы М. М. Борескова о форме воронки выброса. Поэтому важно получить для расчёта взрывного разрушения пород и массивов базовые аналитические формулы.

На основе аналитической теории прочности и новых базовых гипотез о формировании камуфлета и воронки выброса поставлены и решены **порождающие задачи** подземного взрыва для единичных и взаимодействующих, точечных и линейных зарядов. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

➤ основная роль в разрушении пород в пределах воронки выброса принадлежит *газообразным продуктам взрыва* во время так называемой его статической фазы;

➤ предложена *новая расчётная схема взрыва* заряда ВВ на выброс, основанная на прямом определении размеров воронки выброса путём вычисления нормированного критерия разрушения с помощью аналитической теории прочности.

Установлены закономерности механического действия сферического и цилиндрического зарядов на выброс.

1.6 Геомеханика бурового породоразрушающего инструмента (БПРИ)

Разработана математическая модель геомеханического взаимодействия БПРИ с породами забоя скважины. На основе использования феномена пинч-эффекта, открытого Бриджменом, раскрыт механизм формирования трещин разрыва под лезвием БПРИ и их дальнейшего распространения.

Впервые рассмотрена проблема оптимизации БПРИ и сформулированы основные требования к способу бурения и инструменту для его осуществления. Показаны основные технические противоречия при бурении и пути их устранения. Впервые сформулирован критерий оптимизации для формы лезвия и доказано, что оптимальная конфигурация лезвия БПРИ в проекции на породный забой представляет собой спираль Архимеда. Предложена оптимальная форма БПРИ.

2 Лабораторный и натурный эксперимент

2.1 Испытания горных пород и материалов, методики и приборы

По этому направлению исследований разработаны:

➤ *портативный прибор экспресс-испытаний горных пород (ППЭИ)* для проведения прочностных испытаний в лабораторных и полевых условиях на образцах по-

луправильной и неправильной формы, а также на кернах с необработанными торцами;

➤ *прибор для ударных и статических экспресс испытаний (ПУСЭИП)*, отличающийся предельной простотой, малой массой и возможностью проведения не только статических, но и динамических испытаний в полевых и лабораторных условиях; незаменим при проведении массовых испытаний пород в условиях быстро меняющейся структуры и типов пород при строительстве подземных и наземных объектов;

➤ комплексный метод испытаний пород в виде образцов как необработанных кернов, позволяющий с помощью набора разработанных инденторов определить пределы прочности пород на одноосное сжатие и растяжение, построение полярной диаграммы прочности с учётом плоскостей ослаблений и слоевой неоднородности пород и др.

2.2 Шахтные наблюдения и интроскопия массивов

Обоснована ускоренная методика шахтных инструментальных наблюдений за проявлениями горного давления (смещения породного контура, нагрузка на крепь и пр.), отличающаяся использованием теоремы отсчётов Котельникова, причём обработку наблюдений ведут в подвижной системе координат (Эйлера), связанной с движущимся источником изменения сигнала (в нашем случае — фронтом очистных работ или забоем горной выработки).

Разработаны приборы для:

1) определения нагрузки на крепь и смещений пород массива горных пород;

2) измерения структурной неоднородности массива и контроля качества скрытых работ по активной взрывной разгрузке массива от напряжений и последующего упрочнения пород (реометрический метод и реометрическая установка, метод измерения диэлектрической проницаемости массива и интроскоп по его осуществлению и др.).

Усовершенствованы методы моделирования физических процессов горного про-

изводства на аналоговых и физических моделях (метод ЭГДА, стенды испытания моделей крепи и затяжки, стенд импульсного моделирования взрыва и др.)

3 Технологические и конструкторские исследования и разработки

3.1 Новая научная доктрина «Шахта XXI Века»

На основе изучения антагонистической борьбы новой и старой научных доктрин развития горной техники вскрыты присущие им основные технические противоречия. Выявлены реликты горной техники, блокирующие её развитие: резцы, редуторы, трубы, канаты, копры, подъёмные машины, насосы, вентиляторы, рельсы и др. Показаны направления развития горной техники и технологии.

Разработаны конструкции, выполнены расчётные обоснования и подготовлены эскизные чертежи на новые образцы горной техники и технологии, в числе которых:

- *проходческий комбайн «MIR»* фронтального действия со шнеково-шарошечным исполнительным породоразрушающим рабочим органом, обеспечивающий скорость сооружения горных выработок до 100 м/сут.;

- *агрегат фронтальный шнековой выемки (АФШВ)* для безлюдной добычи угля на тонких и сверхтонких пластах от 0,4 до 1,2 м производительностью 4...7 тыс. т/сут.;

- *универсальная схема вскрытия*, подготовки и система разработки тонких и сверхтонких угольных пластов для безлюдной высокопроизводительной выемки;

- *новая система подземного газообмена без вентиляторов, бесканатный подъём и беструбный водоотлив* производительностью 1000 м³/час — перспективное научное направление в области стационарных горных машин;

- прогрессивные высокопроизводительные схемы *околоствольного двора* и генерального плана *поверхности шахты* нового технического уровня.

3.2 Активные способы обеспечения устойчивости подземных выработок

Состоят в активной разгрузке и последующем упрочнении горных пород (борьба с пучением почвы горных выработок АРПУ, породонесущие конструкции крепи «Монолит» различных модификаций, бутовая полоса с предварительным распором, взрывная разгрузка кровли и др.).

3.3 Рамные конструкции крепи

Новые узлы податливости и межрамные ограждения, активные способы повышения несущей способности крепи путём управления распределением усилий в конструкции (элементы усиления, «заневоливание» деформациями, предварительное напряжение канатной стяжкой, расклинка и др.).

4 Подготовка кадров

Профессор Г. Г. Литвинский осуществляет подготовку кадров высшей квалификации, руководит аспирантурой и докторантурой. Под его научным руководством по специальностям «Шахтное и подземное строительство», «Разработка месторождений полезных ископаемых», «Физические процессы горного производства» защищены 12 кандидатских диссертаций, два докторанта получили учёную степень доктора технических наук.

В ДонГТУ подготовил ряд оригинальных циклов лекций по дисциплинам «Конструкции и расчёт крепи», «Тенденции и закономерности развития горной техники и технологии», «Теория и практика управления горным давлением», «Механика подземных сооружений» и др.

Разработал более 40 методических пособий и инструкций по подготовке горных инженеров, бакалавров и магистров по специальности «Шахтное и подземное строительство».

За период работы в университете им совместно с учениками созданы *учебные и исследовательские лаборатории* в облас-

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ти испытания свойств горных пород и изучения свойств массивов методами реономных измерений и интроскопии, моделирования проявлений горного давления, испытания конструкций крепи и затяжек.

Спроектированы и изготовлены **стенды для лабораторных и исследовательских работ** по изучению действия взрыва, использования моделирования методом гид-

родинамических аналогий на электропроводной бумаге, целый комплекс измерительной аппаратуры и приборов, которые широко используются для проведения лабораторных, научно-исследовательских работ студентов, магистров и аспирантов, для выполнения госбюджетных и хоздоговорных работ по заказам предприятий горной промышленности.

ТРЕБОВАНИЯ
к рукописям научных статей в сборник научных трудов
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
Луганской Народной Республики
«Донбасский государственный технический университет»

Научные статьи, предоставляемые в редакцию, должны соответствовать требованиям ВАК МОН ДНР (Приложение 1 к правилам формирования в уведомительном порядке перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (п. 4)) и базовым издательским стандартам по оформлению статей по ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания».

Сборник научных трудов издаётся не менее 7 раз за 2 года. Сборник формирует информационный отдел: 94204, г. Алчевск, пр. Ленина, 16, ДонГТУ; тел./факс: (06442) 2-68-87, e-mail: info@dstu.education (тема: для редакции сборника научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»); секретарь редакционной коллегии Скомская Светлана Анатольевна.

Сборник содержит следующие разделы: «Науки о земле», «Металлургия и материаловедение», «Машиностроение и машиноведение», «Строительство и архитектура».

Представляемые в статье материалы должны быть актуальными, отвечать новым достижениям науки и техники, иметь практическую значимость, соответствовать направленности сборника и представлять интерес для широкого круга специалистов.

Название статьи должно быть лаконичным и понятным, включать в себя объект и предмет исследований, иметь прямое отношение к области исследований и её результатам.

Обязательные элементы статьи:

- 1) постановка проблемы, обоснование её актуальности;
- 2) анализ последних исследований и публикаций по данной проблеме, вскрытие их недостатков и противоречий;
- 3) выделение не решённых ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья;
- 4) формулирование цели, идеи, объекта и предмета исследований, постановка задач исследований;
- 5) описание и обоснование принятой методики исследований;
- 6) изложение основного материала теоретических и (или) экспериментальных исследований с обоснованием достоверности полученных научных результатов;
- 7) выводы о научной новизне и практической ценности результатов, направление дальнейших исследований.

По решению редколлегии в каждом номере сборника может быть опубликовано не более одной статьи обзорного характера, включающей большую часть рекомендованных выше основных элементов.

Редакция оставляет за собой право отклонять рукописи обзорного и компилятивного характера с нечётко сформулированными научными результатами, новизна и достоверность которых недостаточно обоснованы.

Результаты работы не должны предоставляться в виде тезисов.

Ответственность за нарушение авторских прав, несоблюдение действующих стандартов и недостоверность приведённых в статье данных полностью несут авторы статьи.

Статья должна сопровождаться:

– внутренней и внешней рецензиями (на усмотрение автора, рекомендовано два вида рецензий: рецензия в произвольном изложении; международная форма рецензирования статьи);

– лицензионным договором с автором(и).

Текст статьи предоставляется на электронном носителе и в печатном виде, сопроводительная документация только в печатном виде.

Рекомендуемое количество авторов статьи — до 3-х человек. При необходимости, по решению редколлегии, количество авторов может быть увеличено до 5-ти.

Языки предоставления статей: русский, английский, украинский.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Текст рукописи статьи от 5 до 10 страниц в книжной ориентации на белой бумаге формата А4 (210×297 мм) с полями: верхнее, нижнее — 27 мм; левое — 23 мм, правое — 25 мм. Различать колонтитулы чётных и нечётных страниц: от края до верхнего колонтитула — 2 см; от края до нижнего колонтитула — 2 см. Страницы не нумеруются. Рукопись статьи оформляется с применением редактора **MS Word (не ниже Word 97 и не старше Word 2003)**: шрифт — Times New Roman, размер — 12 пт, интервал — одинарный, выравнивание — по ширине, абзацный отступ — 0,5 см.

Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть **активирована**. Весь материал подаётся в чёрно-белом оформлении (без градиентов серого или цветовой палитры).

Не допускается использование списков (маркированных и нумерованных) и элементов «Надпись».

Оформление статей

Статья подаётся отдельным файлом «*Статья.doc*».

УДК проставляется вверху, выравнивание по левому краю, шрифт полужирный, без абзацного отступа. УДК можно определить самостоятельно с помощью классификатора <https://teacode.com/online/udc>. Проверить корректность расшифровки известного УДК можно здесь — <http://scs.viniti.ru/udc/Default.aspx>.

Через один интервал — учёная степень, фамилия, инициалы, разделённые пробелом. С новой строки в круглых скобках через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора. Шрифт полужирный, курсив, выравнивание по правому краю, без абзацного отступа.

С новой строки — название статьи. Выравнивание по центру, шрифт Arial, полужирный, видоизменение — все прописные, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца — 12 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. **Не допускается** набор всего названия заглавными буквами (Caps Lock).

С новой строки — краткая аннотация на языке публикации: размер шрифта — 11 пт, курсив. В аннотации сжато излагается формулировка задачи, которая решена в статье, и приводятся полученные основные результаты.

После аннотации с новой строки — ключевые слова (6–8 слов на языке статьи), курсивом, размером 11 пт, интервал после абзаца — «Авто». Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

С новой строки — текст статьи в **две колонки** одинаковой ширины, промежуток между колонками — 0,5 см.

Слова «рисунок» и «таблица» при упоминаниях в тексте пишутся полностью (пример: «... на рисунке 2 ...»), а в ссылках в конце предложения — сокращённо в скобках (примеры: «... схема инвертора (рис. 2).», «... получены экспериментальные данные (табл. 4).»).

После текста статьи полужирным шрифтом размером 11 пт располагается заголовок «Библиографический список»: интервал перед абзацем — 12 пт, после абзаца — 8 пт, выравнивание по левому краю.

Библиографический список оформляется согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» размером 11 пт, курсивом и должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу в тексте статьи заключаются в квадратные скобки. Рекомендованное количество ссылок — не более восьми источников с датой их издания не ранее чем 20 лет назад.

Через один интервал — учёная степень, фамилия, инициалы, полное название организации, название статьи, аннотации и ключевые слова на оставшемся языке из двух (русский, украинский), размером шрифта 11 пт.

Учёная степень, фамилия, инициалы оформляются полужирным шрифтом, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. В круглых скобках курсивом через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора.

С новой строки, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю — название статьи заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация курсивом.

С новой строки — ключевые слова курсивом. Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

Оформление аннотаций отдельным файлом

Аннотация и ключевые слова дополнительно подаются на двух языках (русский, украинский) отдельным файлом «*Аннотация.doc*», размером шрифта 11 пт.

Учёная степень, фамилия, инициалы оформляются полужирным шрифтом, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. В круглых скобках курсивом через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора. С новой строки, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю — название статьи заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация курсивом.

С новой строки — ключевые слова курсивом. Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

Не допускается внедрение в текст аннотации объектов (формул, рисунков и т. д.).

Оформление рефератов отдельным файлом

Реферат подаётся на двух языках (русский, украинский) отдельным файлом «*Реферат.doc*»: размер шрифта — 11 пт, без абзацного отступа, выравнивание — по левому краю. Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть **выключена**.

Фамилия, имя, отчество оформляются полужирным шрифтом.

С новой строки — учёная степень, должность.

С новой строки — название подразделения.

С новой строки через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора.

Через интервал повторить данные для каждого автора.

Через интервал — название статьи (полужирным начертанием).

Через интервал — текст реферата. Реферат объёмом от 200 до 300 слов исключительно общепринятой терминологии должен быть структурированным и содержать следующие элементы: цель, методика, результаты, научная новизна, практическая значимость. Фразы «**Цель.**», «**Методика.**», «**Результаты.**», «**Научная новизна.**», «**Практическая значимость.**» (на русском языке), «**Мета.**», «**Методика.**», «**Результати.**», «**Наукова новизна.**», «**Практична значущість.**» (на украинском языке), «**Aim.**», «**Technique.**», «**Results.**», «**Scientific novelty.**», «**Practical significance.**» (на английском языке) размещаются с новой строки и выделяются полужирным начертанием. Реферат не должен повторять название статьи.

Не допускается внедрение в текст реферата объектов (формул, рисунков, и т. д.).

Рисунки

Рисунки вставляются в текст единым объектом и могут быть представлены:

– *растровыми форматами* — gif, tiff, jpg, bmp и им подобными (качество 300 dpi);

– векторными форматами — emf, wmf (графики, диаграммы).

Рисунки, выполненные в программах Corel, CAD, Word и др., переводятся в один из описанных выше форматов, предпочтительно векторный.

Графический материал следует располагать непосредственно после текста, в котором он упоминается впервые, или на следующей странице. Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте и нанесены слева направо, сверху вниз. Перед рисунком интервал 12 пт. Выравнивание по центру, ширина в одну колонку (большие рисунки располагают на ширину страницы вверху или внизу). Рисунки размещают в тексте (не в таблицах), обтекание рисунка — «в тексте». Все рисунки подаются дополнительно отдельными файлами.

Допускается размещение пояснительных данных под иллюстрацией (подрисуночный текст) с выравниванием по центру, без абзацного отступа, размером 10 пт.

Под каждым рисунком (подрисуночным текстом) располагается надпись в формате «Рисунок № Название» с выравниванием по центру без абзацного отступа, интервалом перед и после абзаца — «Авто», размером шрифта 11 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. Статья не должна заканчиваться рисунком. Рекомендуются, чтобы площадь, занятая рисунками, составляла не более 25 % общего объема статьи.

Формулы

Абзац, содержащий формулы, должен иметь следующие параметры: выравнивание по левому краю, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца 6 пт, позиции табуляции — 3,93 см по центру (для расположения формулы) и 7,85 см по правому краю (для расположения номера формулы). Формулы целиком (включая размерности) выполняются с помощью редактора формул **Microsoft Equation 3** математическим стилем, обычное начертание шрифта (нормальный), со следующими размерами:

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	9 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс)	7 pt
Symbol (крупный символ).....	14 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	12 pt
Формат	по центру
Междустрочный интервал.....	200 %

Недопустимо масштабирование и размещение формул в табличном формате. В одном блоке формулы, попадающем на границу колонок, допускается только одна строка (многострочные формулы разбиваются на блоки). Упоминание элементов формул в тексте статьи также выполняется в редакторе формул.

Таблицы

Все таблицы располагаются после упоминания в тексте и должны иметь нумерационный заголовок и название (размер шрифта 11 пт). Нумерационный заголовок (*Таблица 1*) выравнивается по правому краю над таблицей, курсив, интервал перед абзацем — 12 пт. С новой строки помещают название выравниванием по центру, без абзацного отступа, с запретом автоматического переноса слов в абзаце; интервал после абзаца — 6 пт.

Таблица выравнивается по центру контейнера, в книжной ориентации, шириной в 1 колонку (большие таблицы располагаются на ширину страницы вверху или внизу). Текст в таблице оформляется размером шрифта 11 пт или 12 пт без абзацного отступа. **Не допускается** заливка ячеек таблицы цветом. **Запрещается** располагать таблицу в альбомной ориентации. После таблицы отступается один интервал.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Новиков А. О., Выговский Д. Д., Шестопалов И. Н.</i> О ПРЕДЕЛЬНЫХ СРОКАХ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ..5	
<i>Кизияров О. Л., Болотов А. П., Бизянов Е. Е., Коваленко Н. В.</i> ПРОГНОЗ ШАГА ПЕРВИЧНОЙ ОСАДКИ ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ ПРИ РАЗВОРОТЕ ЛИНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ 11	11
<i>Павлов В. И., Кулакова С. И.</i> ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НОРМАТИВНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОМ УРОВНЕ УГЛЕДОБЫЧИ 18	18
<i>Корецкая Е. Г.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОДРАБОТКИ ЛАВОЙ № 35 ^{ВОСТ.} пл. h ₈ ШАХТЫ им. М. В. ФРУНЗЕ 23	23

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<i>Рябичева Л. А., Нагорный Е. В.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА УПРОЧНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ 33	33
<i>Дубасов В. М.</i> ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ 38	38

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Дрозд Г. Я.</i> ТВЁРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ В ДОНБАССЕ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ 45	45
<i>Бурцев Г. Г., Бондарец О. А., Левченко Э. П.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА ПРИ ЕГО ПРОСАДКЕ 52	52

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Сидоров В. А., Ошовская Е. В., Шамрай Ю. А., Якимова А. В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ РИСКА ОТКАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 63	63
<i>Малеев В. Б., Кудрявцев А. А.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫМ ЭРЛИФТНЫМ ГИДРОПОДЪЁМОМ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 71	71
<i>Сотников А. Л., Щербина С. В.</i> ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ ЕГО СБОРКЕ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ 78	78
<i>Вишневский Д. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ В КУЗНЕЧНО- ПРЕССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПО МЕСТУ ПРОИСШЕСТВИЯ И ПО ВРЕМЕНИ ОТ НАЧАЛА РАБОТЫ 84	84
<i>Жильцов А. П., Харитоненко А. А.</i> ФОРМИРОВАНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ПРИ НАМОТКЕ ПОЛОСЫ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ 91	91

Вишневский Д. А., Сахаров Б. А.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ «ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА» НА НАДЁЖНОСТЬ

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 97

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПРОФЕССОР ЛИТВИНСКИЙ ГАРРИ ГРИГОРЬЕВИЧ. 80-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ, 65 ЛЕТ

ТРУДОВОЙ, 55 ЛЕТ НАУЧНОЙ И 50 ЛЕТ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 107

ЗМІСТ

НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

<i>Новіков О. О., Виговський Д. Д., Шестопалов І. М.</i> ПРО ГРАНИЧНІ СТРОКИ ЗАСТОСУВАННЯ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ГРІНИЧИХ ВИРОБОК ..5	
<i>Кізіяров О. Л., Болотов О. П., Бізянов Є. Є., Коваленко Н. В.</i> ПРОГНОЗ КРОКУ ПЕРВИННОГО ОСІДАННЯ ВАЖКООБРУШУВАНОЇ ПОКРІВЛІ ПРИ РОЗВОРОТІ ЛІНІЇ ОЧИСНОГО ВИБОЮ 11	11
<i>Павлов В. І., Кулакова С. І.</i> ОЦІНКА ТОЧНОСТІ НОРМАТИВНОЇ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МЕТАНОВИДІЛЕННЯ ПРИ ВИСОКОМУ РІВНІ ВУГЛЕВИДОБУТКУ 18	18
<i>Корецька О. Г.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ОСІДАНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В УМОВАХ ПІДРОБКИ ЛАВОЮ № 35 ^{СХІД} пл. h ₈ ШАХТИ ім. М. В. ФРУНЗЕ 23	23

МЕТАЛУРГІЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Рябічева Л. О., Нагорний Є. В.</i> ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ І ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА ЗМІЦНЕННЯ ПОРОШКОВИХ ДВОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ 33	33
<i>Дубасов В. М.</i> ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЙНО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ 38	38

БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

<i>Дрозд Г. Я.</i> ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ В ДОНБАСІ: РЕАЛЬНІСТЬ І ПЕРСПЕКТИВИ 45	45
<i>Бурцев Г. Г., Бондарець О. А., Левченко Е. П.</i> МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРУБОПРОВОДУ ПРИ ЙОГО ПРОСІДАННІ 52	52

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАШИНОЗНАВСТВО

<i>Сидоров В. А., Ошовська О. В., Шамрай Ю. О., Якімова А. В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ПРИ АНАЛІЗІ РИЗИКУ ВІДМОВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ 63	63
<i>Малєєв В. Б., Кудрявцев О. О.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ ГЛУБОКОВОДНИМ ЕРЛІФТНИМ ГІДРОПІДЙОМОМ КОРИСНИХ КОПАЛИН 71	71
<i>Сотніков О. Л., Щербина С. В.</i> ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРИ ЙОГО ЗБИРАННІ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ 78	78
<i>Вишневський Д. О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НЕЩАСНИХ ВИПАДКІВ В КОВАЛЬСЬКО-ПРЕСОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ЗА МІСЦЕМ ПОДІЇ І ЗА ЧАСОМ ВІД ПОЧАТКУ РОБОТИ 84	84
<i>Жильцов О. П., Харитоненко А. А.</i> ФОРМУВАННЯ НАТЯГУ ПРИ НАМОТУВАННІ СМУТИ В УМОВАХ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ 91	91
<i>Вишневський Д. О., Сахаров Б. О.</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ «ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРА» НА НАДІЙНІСТЬ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ 97	97

ІНФОРМАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ПРОФЕСОР ЛИТВИНСЬКИЙ ГАРРІ ГРИГОРОВИЧ. 80-РІЧНИЙ ЮВІЛЕЙ, 65 РОКІВ ТРУДОВОЇ, 55 РОКІВ НАУКОВОЇ І 50 РОКІВ ПЕДАГОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	107
---	-----

CONTENT**GEOSCIENCES**

<i>Novikov A. O., Vygovskiy D. D., Shestopalov I. N.</i> DEADLINES FOR APPLICATION THE METHODS OF UNDERGROUND WORKING PROTECTION	5
<i>Kiziyarov O. L., Bolotov A. P., Bizianov E. E., Kovalenko N. V.</i> PREDICTION OF THE FIRST SETTLING INCREMENT OF THE POORLY CAVING ROOF WHEN THE BREAKAGE FACE LINE TURNS OVER	11
<i>Pavlov V. I., Kulakova S. I.</i> ACCURACY ASSESSMENT OF NORMATIVE TECHNIQUE FOR CALCULATING THE METHANE RELEASE AT A HIGH LEVEL OF COAL MINING	18
<i>Koretskaia E. G.</i> MODELING OF THE EARTH CRUST SUBSIDENCE UNDER THE CONDITIONS OF LONGWALL UNDERMINING № 35 ^{EAST} . LAYER h ₈ OF FRUNZE MINE	23

METALLURGY AND MATERIAL SCIENCES

<i>Ryabicheva L. A., Nagornyi E. V.</i> EFFECT OF TEMPERATURE AND STRAIN RATE ON HARDENING A POWDER TWO-COMPONENT SYSTEMS AT ELEVATED TEMPERATURES	33
<i>Dubasov V. M.</i> INFLUENCE OF DEFORMATION-HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF DIE STEELS	38

CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

<i>Drozd G. Ya.</i> SOLID WASTES IN THE DONBASS: REALITY AND PROSPECTS	45
<i>Burtsev G. G., Bondarets O. A., Levchenko E. P.</i> MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE PIPELINE DURING ITS DRAWDOWN	52

MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

<i>Sidorov V. A., Oshovskaya E. V., Shamray Yu. A., Yakimova A. V.</i> INCREASE OF INFORMATIVITY IN THE RISK ANALYSIS OF FAILURES OF METALLURGICAL EQUIPMENT	63
<i>Maleev V. B., Kudriavtsev A. A.</i> CHARACTERISTICS OF MANAGEMENT OF THE DEEP-WATER AIRLIFT OF THE HYDRAULIC MINERALS HOISTING	71
<i>Sotnikov A. L., Shcherbina S. V.</i> ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF NO-FAILURE THREADED CONNECTIONS AT IT ASSEMBLY BY DIFFERENT METHODS	78
<i>Vishnevskiy D. A.</i> STUDY THE ACCIDENTS DISTRIBUTION IN THE PRESS-FORGING PRODUCTION AT THE SCENE AND THE TIME PERIOD FROM THE BEGINNING OF THE WORK	84
<i>Zhiltsov A. P., Kharitonenko A. A.</i> FORMATION OF TENSION WHILE WINDING THE STRIP UNDER THE DYNAMIC LOADING CONDITIONS	91
<i>Vishnevskiy D. A., Sakharov B. A.</i> ANALYZING THE INFLUENCE OF "HUMAN FACTOR" ON RELIABILITY OF THE METALLURGICAL EQUIPMENT	97

INFORMATION MATERIALS

PROFESSOR LITVINSKY GARRY GRIGORIEVICH. 80 TH ANNIVERSARY, 65 YEARS OF PROFESSIONAL EXPERIENCE, 55 YEARS OF SCIENTIFIC AND 50 YEARS OF PEDAGOGICAL ACTIVITIES	107
--	-----

УДК 622(06) + 669(06) + 69(06) + 65.011.56 + 621.3 +
+ 33 + 621.37 + 1

**Збірник наукових праць
Донбаського державного
технічного університету**

Збірник

Випуск 12 (55) 2018

Засновник:
**Донбаський державний технічний
університет**

*Свідоцтво Міністерства інформації,
друку і масових комунікацій ЛНР
про державну реєстрацію засобу масової
інформації МІ-СГР ПІ 000003
від 05.02.2016*

*Наказом Міністерства освіти і науки Донецької
Народної Республіки від 2 травня 2017 р № 464
збірник наукових праць включений до Переліку
рецензованих наукових видань, в яких повинні
бути опубліковані основні наукові результати
дисертацій на здобуття наукового ступеня
кандидата наук, на здобуття наукового ступеня
доктора наук, затвердженого наказом
Міністерства освіти і науки Донецької Народної
Республіки від 1 листопада 2016 р № 1134, згідно
з додатком 1.*

*Наказом МОН ЛНР № 911-ОД від 10.10.2018
збірник наукових праць ДонДТУ внесений до
Переліку рецензованих наукових видань, в яких
повинні бути опубліковані основні наукові
результати дисертацій на здобуття наукового
ступеня кандидата наук, на здобуття наукового
ступеня доктора наук, затверджений наказом
Міністерства освіти і науки Луганської Народної
Республіки від 15 травня 2018 р. № 477-ОД.*

*Рекомендовано вченою радою
ДСУ ВПО ЛНР «ДонДТУ»
(Протокол № 4 від 30.11.2018)*

Включений до наукометричної бази даних РІНЦ

Формат 60×84^{1/8}.
Ум. друк. арк. 7,9.
Зам. № 367.
Наклад 100 пр.

Видавництво не несе відповідальності за зміст
матеріалу, наданого автором до друку.

Адреса редакції, видавця
та виготовлювача:
ДСУ ВПО ЛНР
«Донбаський державний технічний університет»
пр. Леніна, 16, м. Алчевськ, ЛНР, 94204.
E-mail: info@dstu.education
Web-site: http://www.dstu.education

ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИЙ ЦЕНТР,
ауд. 2113, т./факс 2-58-59

Свідоцтво про державну реєстрацію видавця,
виготовлювача
і розповсюджувача засобу масової інформації
МІ-СГР ВД 000055 від 05.02.2016.

Головний редактор

Зінченко А. М. — к.е.н., в.о. ректора

Заступник головного редактора

Новохатський А. М. — д.т.н., проф.

Редакційна колегія:

Литвинський Г. Г. — д.т.н., проф.

Фінкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнєєв С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. О. — к.т.н., доц.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницький В. Н. — к.т.н., проф.

Зелінський А. М. — к.т.н., проф.

Куберський С. В. — к.т.н., проф.

Денищенко П. М. — к.т.н., доц.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух М. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н., доц.

Псюк В. В. — к.т.н., доц.

Скомська С. А. — секретар редакційної
колегії.

Для наукових співробітників, аспірантів,
студентів вищих навчальних закладів

Мова видання:

російська, українська та англійська

Комп'ютерна верстка і коректура
Ісмаїлова Л. М.

© ДСУ ВПО ЛНР «ДонДТУ», 2018
© Чернишова Н. В., художнє
оформлення обкладинки, 2018

Distribution and replication is forbidden without official allowance of DonSTU

**UDK 622(06) + 669(06) + 69(06) + 65.011.56 +
+ 621.3 + 33 + 621.37 + 1**

**Collection of scientific papers
of Donbass State Technical
University**

Collection

Issue 12 (55) 2018

**Establisher: Donbass
State Technical
University**

*Certificate of Ministry of Information,
Press and Mass Communication of LPR
for mass media registration
MI-SGR PI 000003
dated 05.02.2016*

*By order of the Department of Education and Science
of Donetsk People Republic of 2 May 2017 № 464 the
Collection of scientific papers
is being offered in the list of peer-reviewed scientific
editions with required publications
of the main scientific PhD and Doctor's thesis results,
approved by an order of the Department of Education
and Science of Donetsk People Republic of 1
November 2016 № 1134,
according to annex 1.*

*By order of the Department of Education and Science
of the Lugansk People Republic No. 911-OD of
10.10.2018 the Collection of scientific papers of
DonSTU is being offered in the list of peer-reviewed
scientific editions with required publications of the
main scientific PhD and Doctor's thesis results,
approved by an order of the Department of Education
and Science of the Lugansk People Republic
of 15 May 2018 № 477-OD.*

*Recommended by academic council of DonSTU
(Record № 4 dated 30.11.2018)*

Added to scientometrical data base of RSCI

Format 60×84%.
Conventional printed sheet 7,9.
Order № 367.
Circulation 100 copies
Publishing office is not responsible for
material content giving by author
for publishing.

Address of editorial office, publishing and
establishing: Donbass State Technical University
Lenin avenue, 16, Alchevsk, LPR
94204

E-mail: info@dstu.education
Web-site: <http://www.dstu.education>

**PUBLISHING AND PRINTING
CENTER,**

Room 2113, tel/fax 2-58-59
Certificate of State registration for mass
media publisher, owner and distributor
MI-SGR ID 0000055 dated 05.02.2016

Editor-in-chief

Zinchenko A. M. — PhD in Engineering,
acting rector

Deputy chief editor

Novohatskyi A. M. — Doctor of tech. sc., prof.

Editorial board:

Litvinskyi G. G. — Doctor of tech. sc., prof.

Finkelstein Z. L. — Doctor of tech. sc., prof.

Korneiev S. V. — Doctor of tech. sc., prof.

Leonov A. A. — PhD in Engineering

Kharlamov Yu. A. — Doctor of tech. sc., prof.

Uliianitskyi V. N. — PhD in Engineering, prof.

Zelinskyi A. N. — PhD in Engineering, prof.

Kuberskyi S. V. — PhD in Engineering, prof.

Denisschenko P. N. — PhD in Engineering

Drozd G. Ya. — Doctor of tech. sc., prof.

Sholukh N. V. — Doctor of arch., prof.

Bondarchuk V. V. — PhD in Engineering

Psjuk V. V. — PhD in Engineering

Skomskaia S. A. — Secretary to the editorial board.

For research scientists, PhD seekers, students of
higher educational institutions.

Issue language:

Russian, Ukrainian, English

Computer layout and proofreading

Ismailova L. M.

© SEIHPE «DonSTU», 2018

© Chernyshova N.V., graphic, 2018