

ДОНБАССКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*Выпуск 14 (57) 2019*



СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**Сборник  
научных трудов  
Донбасского государственного технического  
университета**

Сборник  
Выходит 1–4 раза в год  
Основан в июне 1999 г.  
Выпуск 14 (57) 2019

**Збірник наукових праць  
Донбаського державного технічного університету**

Збірник  
Виходить 1–4 рази на рік  
Заснований у червні 1999 р.  
Випуск 14 (57) 2019

**Collection of Scientific Papers of DonSTU**

Collection  
Publishing 1–4 times a year  
Founded in June 1999  
Issue 14 (57) 2019

Алчевск  
2019

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 14 (57) 2019

**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 № 11 от 21.06.2019)*

*Включён в наукометрическую базу данных РИНЦ*

Формат 60×84%.  
Усл. печат. л. 12,6.  
Заказ № 207.  
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](mailto: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**

Куберский С. В. — к.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.

Должиков В. В. — к.т.н., доц.

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», 2019

© Чернышова Н. В., художественное  
оформление обложки, 2019

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

---

---

**НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ**

---

---

**GEOSCIENCES**





УДК 622.831.312:552.122

д.т.н. Касьян Н. Н.,  
д.т.н. Петренко Ю. А.,  
к.т.н. Касьяненко А. Л.

(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР, [rpt@mine.donntu.org](mailto:rpt@mine.donntu.org))

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЧНОГО СЛОЯ В СОСТАВЕ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ НА ЕЁ УСТОЙЧИВОСТЬ

*Приведены результаты лабораторных исследований на моделях из эквивалентных материалов. Установлено, что деформирование пород почвы с прочным слоем происходит в два этапа: на 1-м этапе складкообразование слоёв происходит только над прочным слоем; на 2-м этапе происходит изгиб и разлом прочного слоя и увеличение смещений пород почвы. При этом если толщина прочного слоя, при ширине выработки  $B$ , не превышает  $0,1B$ , то выработку желательно располагать относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно дальше от контура почвы, но не более  $0,5B$ . При наличии в почве выработки слоя прочных пород толщиной  $0,3B$  наибольший положительный эффект достигается, если располагать выработку относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно ближе к контуру почвы выработки.*

**Ключевые слова:** горная выработка, породы почвы, прочный слой, эквивалентные материалы, зона разрушенных пород, критерий подобия.

**Актуальность, цель и задачи исследований.** Опыт отработки угольных пластов Донецко-Макеевского района Донбасса показывает, что из-за деформирования пород почвы около 65 % выемочных выработок находятся в неудовлетворительном состоянии и до 43 % затрат по ремонту выработок приходится на их подработку.

Анализ результатов обследования выемочных выработок угольных шахт Донецко-Макеевского углепромышленного региона показал, что при подработке почвы ежегодно извлекается и выдаётся на поверхность около 10 тыс. м<sup>3</sup> породы, на что затрачивается более чем 5000 чел.-смен в год. Для подработки и зачистки почвы применяются подработочные и подработочно-бурильные машины, причём их применение эффективно в условиях слабых пород. Анализ состава углевмещающих пород Донецко-Макеевского района Донбасса показал, что чередование слоёв в текстуре пород почвы представлено в следующем порядке: в 82 % случаев первым слоем встречаются слабые породы со средним пределом прочности на одноосное сжатие до 40 МПа;

в 32 % случаев вторым слоем встречаются прочные породы с прочностью от 60 до 120 МПа; третий слой почвы в 80 % случаев представлен слабыми породами [1]. Таким образом, при наличии в текстуре почвы прочных слоёв вместо механизированной применяется буровзрывная подработка, что существенно осложняет ремонтные работы и повышает их стоимость.

Обзор отечественных и зарубежных исследований [2–5] по обеспечению устойчивости выемочных выработок показывает, что вопросу влияния текстуры пород на процесс деформирования почвы выработок уделялось недостаточное внимание. При наличии в текстуре почвы прочного слоя пород их разрушение происходит в результате развития породной складки с образованием крупных породных блоков [4, 5]. В таких условиях производить механизированную подработку затруднительно, а зачастую и невозможно. При этом прочность пород для механизированной подработки должна составлять не более 60 МПа. Выше этого предела при подработке почвы необходимо применять буровзрывные работы, что

повышает энергозатраты на разрушение пород и снижает темпы работ более чем в 5 раз [6]. Кроме того, не рассматривался вопрос использования несущей способности прочного слоя в почве выработки для повышения её устойчивости.

Таким образом, изучение процесса деформирования пород почвы при наличии в их текстуре прочного слоя является актуальной научно-технической задачей.

**Постановка задачи.** Задачей данных исследований являлось установление особенности процесса деформирования пород почвы выработки при наличии в их текстуре прочного слоя.

**Изложение материала и его результаты.** Исследования проводились на моделях из эквивалентных материалов с использованием плоского стенда с внутренними рабочими размерами 76×58×16 см, обеспе-

чивающими соблюдение граничных условий при выбранном масштабе моделирования 1:50.

Процессы деформирования моделируемого породного массива изучались в одиночной пластовой выработке, содержащей прочный слой в почве.

Всего было отработано 13 моделей. В первой модели моделировалась почва пласта выработки без прочного слоя, остальные 12 моделей отработывались для аналогичных условий, но с наличием прочного слоя различной толщины ( $m_{пр}$ ), прочностии ( $\sigma_{сж}$ ) и глубины залегания от контура почвы ( $h_{пр}$ ). За прочный слой принимался слой пород, прочность которого на 50 % и более превышает прочность остальных вмещающих пород.

Характеристика данных моделей представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика почвы моделируемой выработки

№ модели	Ширина выработки, В		Приведённая толщина прочного слоя почвы, $\frac{m_{пр}}{В}$	Приведённая глубина залегания прочного слоя, $\frac{h_{пр}}{В}$
	в натуре, м	в модели, мм		
почва без прочного слоя				
1	5	100	—	—
почва с прочным слоем $\sigma_{сж}=60$ МПа				
2	5	100	0,1	0,1
3	5	100	0,1	0,3
4	5	100	0,3	0,1
5	5	100	0,3	0,3
почва с прочным слоем $\sigma_{сж}=80$ МПа				
6	5	100	0,1	0,1
7	5	100	0,1	0,3
8	5	100	0,3	0,1
9	5	100	0,3	0,3
почва с прочным слоем $\sigma_{сж}=120$ МПа				
10	5	100	0,1	0,1
11	5	100	0,1	0,3
12	5	100	0,3	0,1
13	5	100	0,3	0,3

В модели пневматическими баллонами создавалось двухосное напряжённое состояние при вертикальной и горизонтальной нагрузках, прирост которых синхронно изменялся. Соотношение между вертикальной и горизонтальной нагрузками равнялось 0,5.

Для предотвращения разрушения модели её пригрузка осуществлялась плавно. После снятия опалубки осуществлялось проведение выработки с установкой арочной крепи. Арочная крепь моделировалась конструкцией из трёх элементов — верх-

няя и двух стоек. Элементы изготавливались из полосы латунной фольги.

По мере нагружения модели проводились измерения величин смещения почвы выработки методом фотофиксации. Для обработки результатов измерений был использован графический редактор Photoshop.

Результаты исследований обрабатывались в виде графиков смещений величины почвы от вертикального пригруза (рис. 1). Состояние моделей на момент окончания испытаний представлено на рисунке 2.

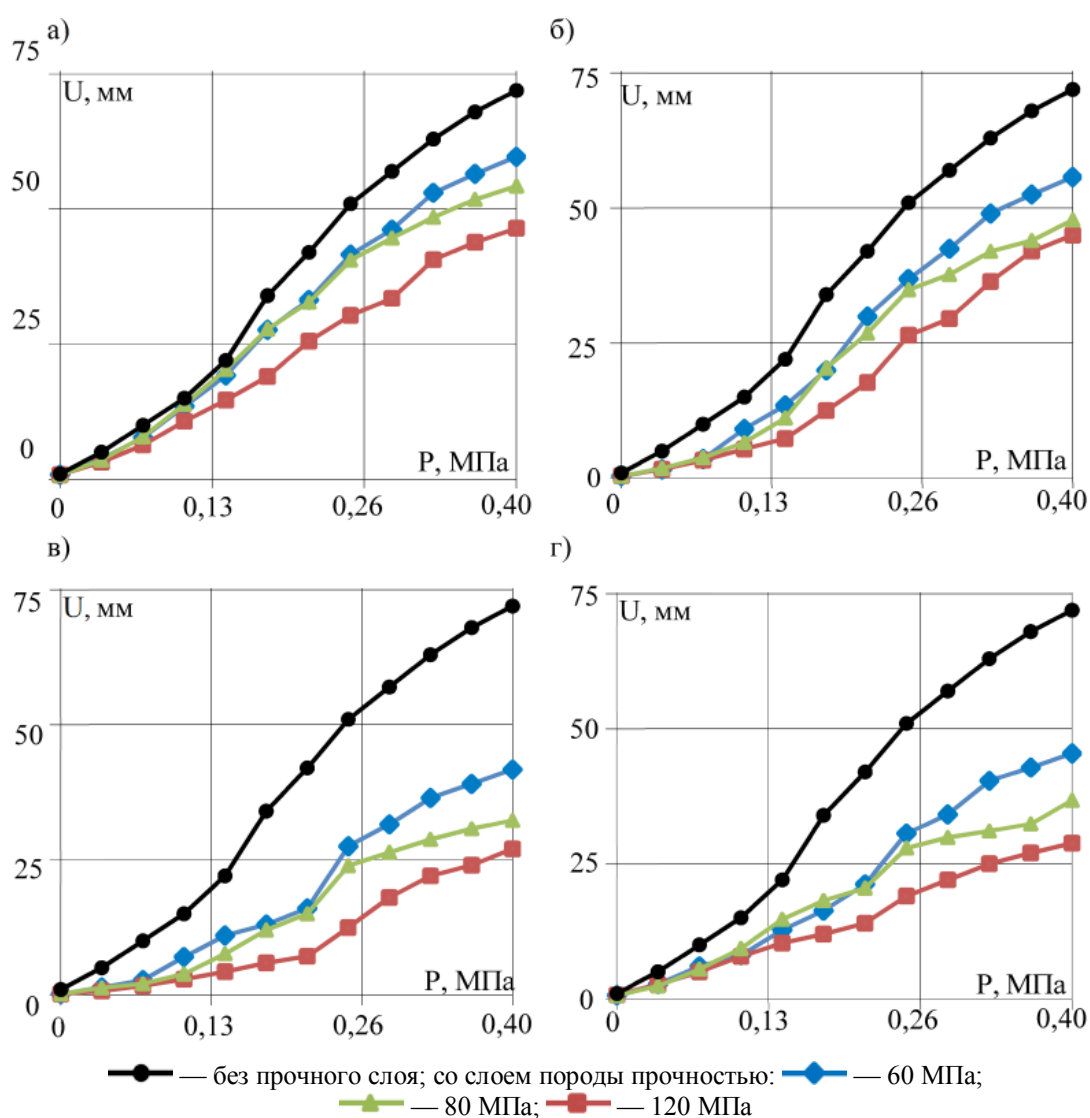


Рисунок 1 Графики зависимостей смещений контура почвы  $U$  от величины пригруза  $P$  в моделях с прочным слоем со следующими параметрами: а)  $m_{\text{пр}} = 0,1\text{В}$  и  $h_{\text{пр}} = 0,1\text{В}$ ; б)  $m_{\text{пр}} = 0,1\text{В}$  и  $h_{\text{пр}} = 0,3\text{В}$ ; в)  $m_{\text{пр}} = 0,3\text{В}$  и  $h_{\text{пр}} = 0,1\text{В}$ ; г)  $m_{\text{пр}} = 0,3\text{В}$  и  $h_{\text{пр}} = 0,3\text{В}$

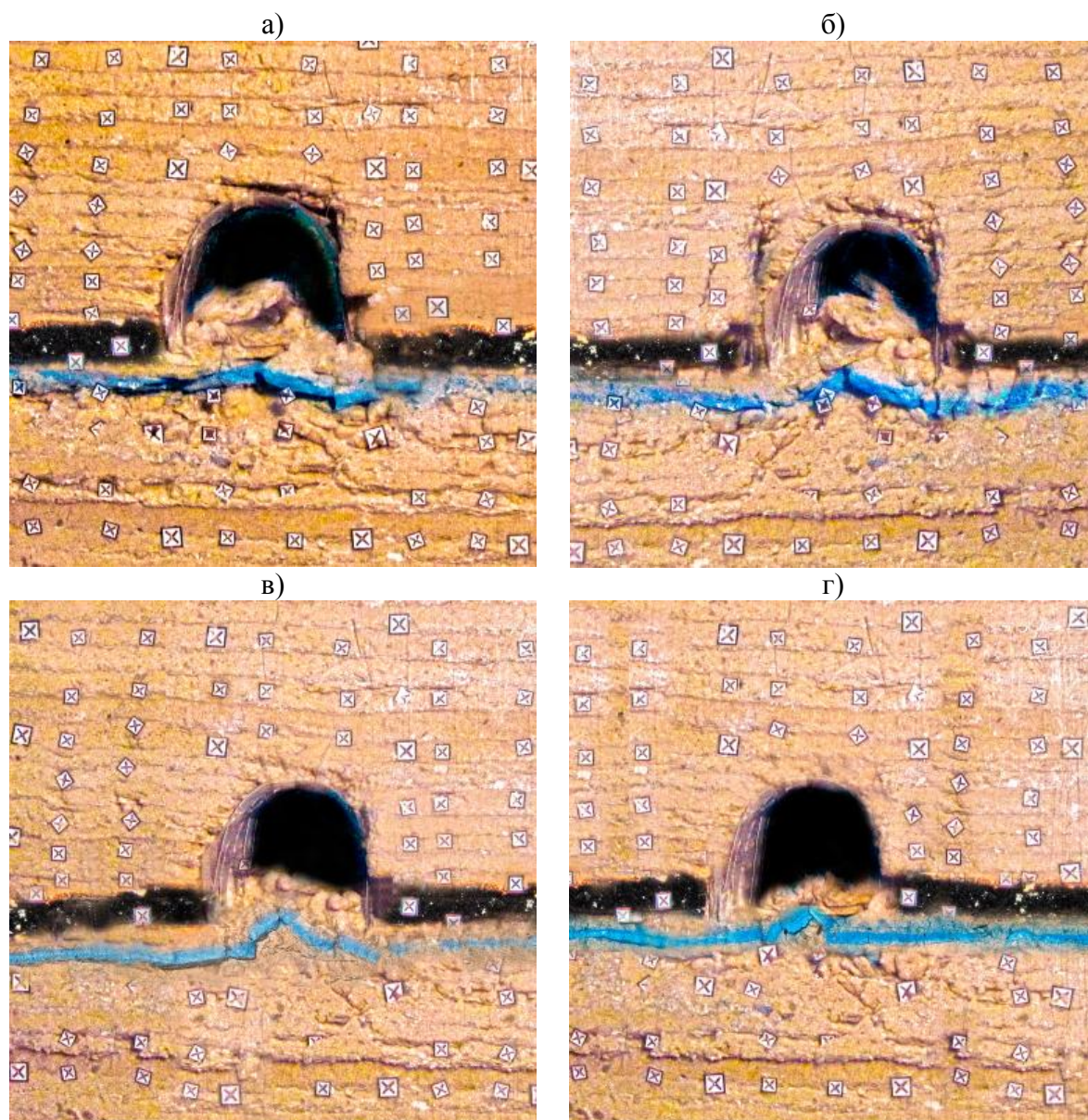


Рисунок 2 Состояние почвы выработки на момент окончания моделирования на моделях: а) № 7; б) № 8; в) № 11; г) № 12

Влияние прочного слоя и его параметров на смещения контура почвы оценивалось с помощью безразмерного коэффициента:

$$k_U = \frac{U_o - U_{пр}}{U_o},$$

где  $U_o$  — смещения пород почвы без прочного слоя, м;

$U_{пр}$  — смещения пород почвы с прочным слоем, м.

Чем больше значение этого коэффициента, тем больше положительное влияние прочного слоя на устойчивость пород почвы.

На рисунке 3 представлены результаты зависимостей коэффициента влияния прочного слоя на контур почвы  $k_U$  от величины пригруза  $P$  для следующих параметров прочного слоя:  $\sigma_{сж} = 60$  МПа,  $\sigma_{сж} = 80$  МПа и  $\sigma_{сж} = 120$  МПа с различными сочетаниями толщины ( $m_{пр}$ ) и глубины залегания ( $h_{пр}$ ) прочного слоя от подошвы выработки.



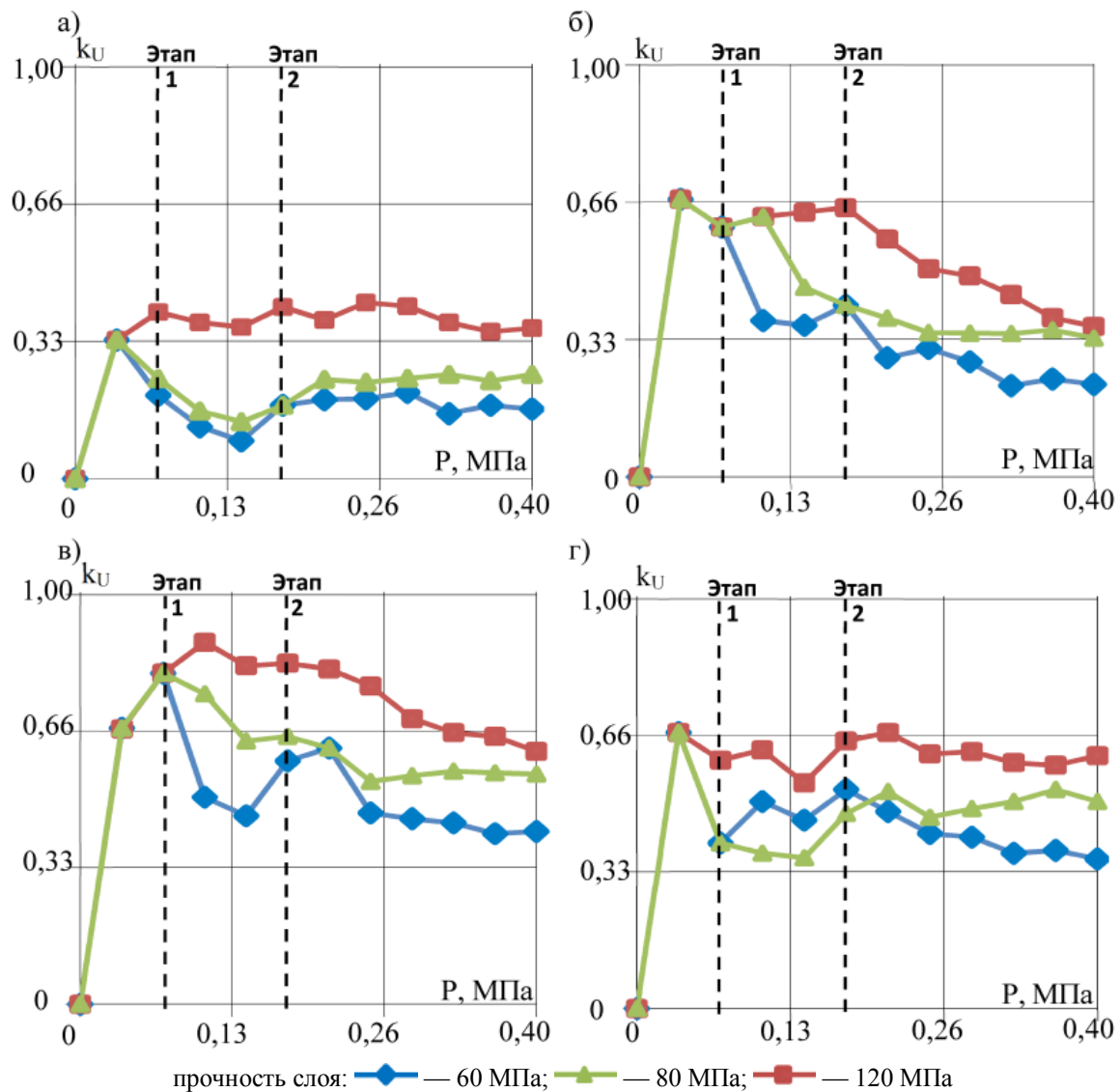


Рисунок 3 Графики зависимостей коэффициента влияния прочного слоя на смещения контура почвы  $k_U$  от величины пригруза  $P$  в моделях с прочным слоем со следующими параметрами:

а)  $m_{пр} = 0,1В$  и  $h_{пр} = 0,1В$ ; б)  $m_{пр} = 0,1В$  и  $h_{пр} = 0,3В$ ; в)  $m_{пр} = 0,3В$  и  $h_{пр} = 0,1В$ ;

г)  $m_{пр} = 0,3В$  и  $h_{пр} = 0,3В$

Анализ представленных графиков позволяет выделить два характерных этапа деформирования пород почвы. На первом этапе при увеличении пригруза начинала формироваться складка и наблюдалось равномерное смещение пород почвы. При этом в моделях с прочным слоем складкообразование слоёв происходило только над прочным слоем. На втором этапе при дальнейшем увеличении пригруза наблюдался изгиб и разлом слоёв, в том числе и прочного, и увеличение смещений пород почвы. При этом

смещения почвы в выработке с прочным слоем в 1,5 раза в среднем были меньше, чем в выработке без прочного слоя.

Деформационный процесс почвы с прочным слоем проявлялся в виде прогиба и разлома слоёв. Причём после разлома прочного слоя деформационный процесс имел более возрастающий характер, вовлекающий нижележащие слои в процесс смещений. На момент окончания 1-го этапа наибольший эффект положительного влияния прочного слоя был отмечен в моде-

лях № 7, 8, 11, 12. При этом смещения почвы выработки на момент окончания отработки для слоя прочностью  $\sigma_{сж} = 60$  МПа,  $\sigma_{сж} = 80$  МПа и  $\sigma_{сж} = 120$  МПа были соответственно в 1,25, 1,34 и 1,55 раза ниже, чем смещения почвы без слоя.

По коэффициенту  $k_U$  видно, что интенсивность смещений почвы одиночной выработки в модели изменялась скачкообразно по мере роста величины пригруза, при этом следует отметить, что до окончания 1-го этапа прочный слой выполняет функцию элемента обратного свода крепи.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1) наличие прочного слоя в почве выработки и его параметры (мощность, прочность, глубина залегания от контура почвы) оказывают влияние на её устойчивость. При этом наибольшее влияние оказывают толщина и прочность;

2) деформирование пород почвы с прочным слоем происходит в два этапа: на 1-м

этапе складкообразование слоёв происходит только над прочным слоем; на 2-м этапе происходит изгиб и разлом прочного слоя и увеличение смещений пород почвы;

3) при наличии в почве выработки слоя прочных пород толщиной 0,1В наибольший положительный эффект достигается, если располагать выработку относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно дальше от контура почвы, но не более 0,5В;

4) при наличии в почве выработки слоя прочных пород толщиной 0,3В наибольший положительный эффект достигается, если располагать выработку относительно вмещающих пород так, чтобы прочный слой залегал как можно ближе к контуру почвы выработки;

5) с целью уменьшения смещений пород почвы необходимо дополнительное внешнее воздействие на прочный слой для предотвращения его разлома до наступления второго этапа деформирования.

### Библиографический список

1. Касьяненко, А. Л. Обеспечение устойчивости пород почвы выемочных выработок при наличии в их текстуре прочных слоёв [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 / Касьяненко Андрей Леонидович ; ГОУ ВПО «ДонНТУ». — Донецк, 2017. — 237 с.
2. Brady, H. G. Rock Mechanics for underground mining [Text] / H. G. Brady, E. T. Brown. — Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2004. — 628 p.
3. Экспериментальные исследования пучения пород почвы подготовительных выработок на пологих пластах Донбасса [Текст] : монография / В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович [и др.]. — Днепрпетровск : ООО «ЛизуновПресс», 2014. — 224 с.
4. Бондаренко, В. И. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород [Текст] : монография / В. И. Бондаренко, И. А. Ковалевская, Г. А. Симанович, В. Г. Черватюк. — Днепрпетровск : ООО «ЛизуновПресс», 2012. — 236 с.
5. Снигур, В. Г. Закономерности пучения пород почвы пластовых выработок [Текст] / В. Г. Снигур // Уголь Украины. — 2014. — № 7. — С. 3–5.
6. Медведев, И. Ф. Механизация проведения горных выработок в крепких породах [Текст] / И. Ф. Медведев, А. А. Фещенко, С. И. Одинец. — М. : «Недра», 1982. — 166 с.

© Касьян Н. Н.

© Петренко Ю. А.

© Касьяненко А. Л.

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

Статья поступила в редакцию 15.05.19.

д.т.н. Касьян М. М., д.т.н. Петренко Ю. А., к.т.н. Касьяненко А. Л. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР, rpm@mine.donntu.org)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІЦНОГО ШАРУ У СКЛАДІ ПОРІД ПІДОШВИ ВИРОБКИ НА ЇЇ СТІЙКІСТЬ

Наведено результати лабораторних досліджень на моделях з еквівалентних матеріалів. Встановлено, що деформування порід підлоги з міцним шаром відбувається в два етапи: на 1-му етапі складкоутворення шарів відбувається тільки над міцним шаром; на 2-му етапі відбувається вигин та розлом міцного шару із збільшенням зсувів порід підлоги. При цьому якщо товщина міцного шару, при ширині виробки  $B$ , не перевищує  $0,1B$ , то виробку бажано розташовувати відносно вміщуючих порід так, щоб міцний шар залягав якнайдалі від контуру підлоги, але не більше  $0,5B$ . При наявності у підлошві виробки шару міцних порід товщиною  $0,3B$  найбільший позитивний ефект досягається, якщо розташовувати виробку щодо вміщуючих порід так, щоб міцний шар залягав якомога ближче до контуру підлоги виробки.

**Ключові слова:** гірнича виробка, породи підлоги, міцний шар, еквівалентні матеріали, зона зруйнованих порід, критерій подібності.

**Doctor of Technical Sciences Kasyan N. N., Doctor of Technical Sciences Petrenko Yu. A., PhD in Engineering Kasyanenko A. L. (SEI HPE «DonNTU», Donetsk, DPR, rpm@mine.donntu.org)**  
**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF A HARD LAYER IN FLOOR ROCKS COMPOSITION ON ITS RESISTANCE**

The laboratory results on models of equivalent materials are given. It has been found out that the deformation of floor rocks with a hard layer occurs in two stages: at the 1<sup>st</sup> stage, the folding of layers occurs only over a hard layer; at the 2<sup>nd</sup> stage — the bending and breaking of a hard layer occurs as well as the increasing of the floor rock displacement. Herewith, if the thickness of a hard layer do not surpass  $0,1B$ , when the width of tunnel is  $B$ , so it's required to locate the tunnel relative to the adjacent rocks, so that the hard layer occur as far as possible from the contour of the floor, but not more than  $0,5B$ . If there is a hard layer with a thickness of  $0,3B$  in the floor rocks, the positive effect is achieved if the tunnel is located relative to the adjacent rocks so that the hard layer occur as close as possible to the contour of the floor tunnel.

**Key words:** mine tunnel, floor rocks, hard layer, equivalent materials, zone of destroyed rocks, similarity criterion.



УДК 621. 83

д.т.н. Бабиюк Г. В.  
(ГУИТ, г. Киев, Украина),  
Доценко О. Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, dotcenkoo@mail.ru)

## ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МАССИВА ОБРУШЕННЫХ ПОРОД

*Приведены результаты исследований гранулометрического состава несвязных, обрушенных и уплотнённых пород кровли угольного пласта после его отработки лавой. Дана статистическая оценка размеров породных кусков в зависимости от расстояния до почвы отработанного пласта и структуры обрушенных пород.*

**Ключевые слова:** обрушенные породы, выработка, размер куска, эквивалентный диаметр, интенсивность трещиноватости, статистика, плотность распределения, лава, свод обрушения.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Одним из возможных путей решения проблемы обеспечения устойчивости горных выработок является применение при разработке угольных пластов технологических схем, предусматривающих размещение выработок в породах выработанного пространства. Перспективность этого способа доказана целым рядом исследователей [1–4 и др.], однако до сих пор он не нашёл широкого применения.

По нашему мнению, фактором, сдерживающим применение способа охраны выработок в обрушенной и уплотняющейся породной толще, является отсутствие в достаточной мере обоснованных геомеханических параметров для описания такой специфической среды, как рыхлые горные породы.

В наше время основным методом прогнозирования напряжённо-деформированного состояния породного массива после выемки угольного пласта и обрушения пород кровли является численное математическое моделирование [5]. Эффективность такого моделирования во многом обусловлена правильностью задания исходных данных. Однако методики определения деформационных и прочностных параметров обрушенных и уплотнённых пород отсутствуют, не совсем понятно, как задавать при моделировании изменчивую структуру подработанной толщи и давление обрушенных по-

род на почву отработанного пласта, да и рекомендации по определению размера свода обрушения базируются ещё на результатах физического моделирования на эквивалентных материалах и требуют подтверждения иными методами.

Из рассмотрения работ [1–4] следует, что изучение деформируемости обрушенных и уплотняющихся пород до сих пор имеет в основном поисковый характер и скольконибудь законченной теории для оценки изменений напряжённо-деформированного состояния массива по мере проведения и поддержания выработки в породах с подобными структурно-механическими особенностями пока не предложено. Общеизвестно, что для решения любой геомеханической задачи прежде всего необходимо выбрать модель деформирующейся среды, а первым этапом этого выбора является анализ структурно-механических особенностей породного массива.

**Цель исследования** — изучение структурных особенностей обрушенных и уплотняющихся пород непосредственно в забоях выработок, проводимых в выработанном пространстве. Структурные свойства несвязных подработанных пород существенно отличаются от свойств монолитного ненарушенного массива, так как обрушенные породы скорее являются дисперсной средой, состоящей из отдельных

породных кусков, которые называют гранулометрическими элементами [6]. Мерой нарушенности таких пород является их гранулометрический состав, который показывает, какого размера куски и в каком количестве содержатся в том или ином объёме. Именно относительное содержание породных кусков различных размеров предопределяет прочностные и деформационные свойства массива, сложенного из обрушенных и уплотнённых пород, и оказывает решающее влияние на устойчивость проводимой в нём выработки.

**Методика исследования.** Изучение структурно-механических особенностей несвязных пород в выработанном пространстве выполнено путём шахтных исследований в забоях выработок, проводимых по обрушенным и уплотнённым породам. Достаточно полной характеристикой гранулометрического состава пород выработанного пространства является статистическая плотность распределения породных кусков по их размеру [6]. Непосредственное измерение размеров породных кусков неправильной формы представляет собой весьма трудоёмкую операцию, поэтому объектом гранулометрического анализа приняты не сами куски, а их проекции на фотоснимках, выполненные в определённом масштабе с использованием фотограмметрии [7].

Методы фотограмметрии позволяют с помощью обычного фотоаппарата довольно просто определять размеры, форму и пространственное положение породных кусков по их фотоснимкам непосредственно в проходческом забое выработки, проводимой в обрушенном массиве, что делает их весьма эффективными и экономичными.

**Изложение материала и его результаты.** Изучались фотографии, сделанные на шахте им. Баракова Н. П. в магистральном откаточном и конвейерном штреках горизонта 764 м, а также в 17-м северном уклоне, которые проводились по выработанному пространству лавы пласта  $k_5$  (рис. 1), и на шахте им. XIX съезда КПСС в полевом уклоне с пласта  $l_4$  на пласт  $l_1$ , сооружае-

мом в обрушенных породах над восточной лавой пласта  $l_1$  (рис. 2).

Горизонт 764 м на шахте им. Баракова Н. П. подготовлен погоризонтным способом. Мощность отрабатанного угольного пласта  $m = 1,55 \dots 1,7$  м, а угол падения —  $2 \dots 4$  градуса. Направленность проведения магистральных штреков совпадает с ходом отработки надрабатывающей лавы, а уклона — перпендикулярно к направлению её перемещения. При проведении выработок выбрана верхняя подрывка пород непосредственной кровли пласта  $k_5$ , обрушившейся после прохода разгрузочной лавы 8...9 лет назад.

Полевой конвейерный уклон пл.  $l_4-l_1$  на шахте им. XIX съезда КПСС проводился сверху вниз под углом к горизонтальной плоскости  $18^\circ$  над отрабатанной лавой пласта  $l_1$ , угол падения которого составляет  $3 \dots 4^\circ$ . Фотоснимки делали в каждом цикле по мере продвижения выработки, начиная с ПК19, который в этот момент находился на расстоянии 20 м (по нормали) от почвы пласта. Это позволило изучить изменчивость кусковатости пород по мере удаления от отрабатанного пласта.

По фотографиям проходческих забоев изготавливали эскизы расположения породных кусков в их поперечном сечении и определяли структурные параметры обрушенных и уплотнённых пород. Размеры породных кусков вычисляли по эскизам забоев через их площадь  $S$  по формуле

$$d = 2\sqrt{S/\pi}, \quad (1)$$

где  $d$  — эквивалентный диаметр породного куска в метрах, который приводился к натуральным размерам с помощью коэффициента масштабирования.

При фотографировании площадь проекции отдельно взятого куска является случайной величиной, причём случайность обусловлена не произвольным выбором куска из совокупности, а случайным его положением в пространстве. Пусть на снимках зафиксирована некоторая совокупность кусков, число которых обозначим через  $N$ .

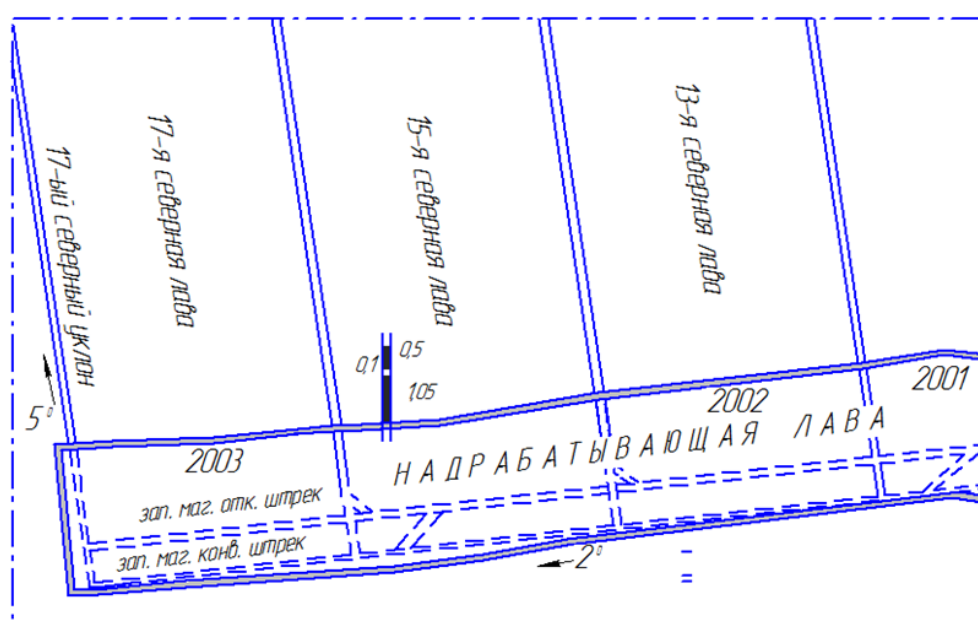
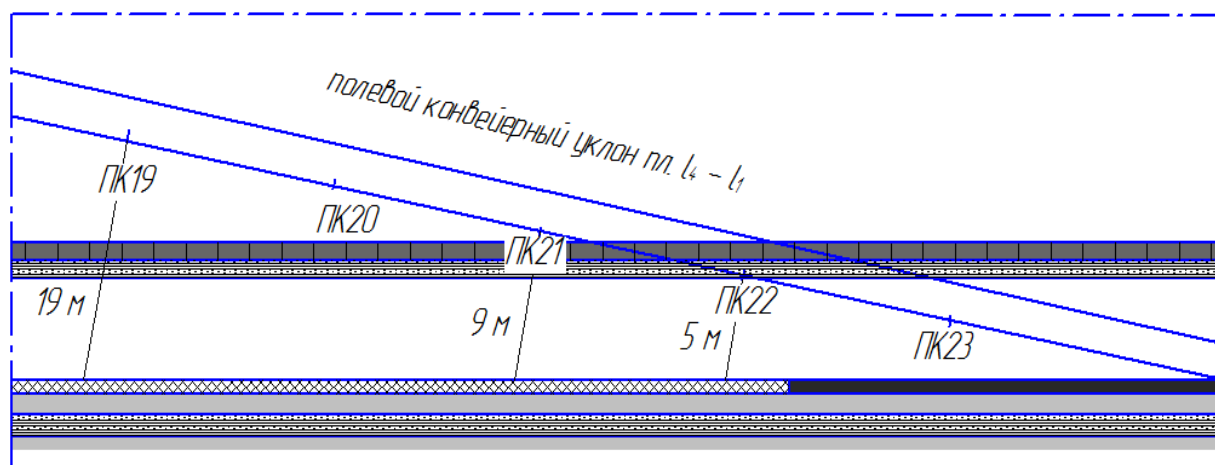


Рисунок 1 Выкопировка из плана горных работ шахты им. Баракова Н. П.

Рисунок 2 Горно-геологические условия проведения полевого конвейерного уклона пл.  $l_4-l_1$  шахты им. XIX съезда КПСС

Если наугад выбрать кусок из совокупности, то его эквивалентный диаметр логично рассматривать как некоторую положительную случайную величину, распределённую определённым образом на числовой оси. Это распределение будет дискретным в силу того, что оно представлено отдельными, разрозненными породными кусками, число которых представляет собой ограниченное счётное множество. Вместе с тем каждая конкретная совокупность кусков является выборочной. Но так

как её объём достаточно велик, то её можно отождествлять с генеральной совокупностью и считать эквивалентный диаметр  $d$  куска непрерывной случайной величиной, распределённой от 0 до  $\infty$  с некоторой плотностью  $f(d)$ . Под выборочной же совокупностью будем понимать множество кусков, подлежащих измерению и составляющих исходную эмпирическую информацию для получения статистических оценок структурных параметров обрушенных пород.

Всего составлено пять выборок: для мелкодроблёного слоя непосредственной кровли пласта  $k_5$  мощностью до 1,25 м; для крупнодроблёного слоя кровли пласта  $k_5$  выше 1,25 м от его почвы; три выборки обрушенных пород кровли пласта  $l_1$  были сгруппированы на различном удалении от его почвы (19 м, 15 м и 5 м).

Статистический анализ данных проведён по каждой выборке. Для определения числовых характеристик случайной величины  $d$  в каждом изучаемом слое строили интервальные ряды, причём оптимальную величину интервала рассчитывали по формуле Стёрджеса [8].

Диаграммы дифференциальной функции распределения  $f(d)$  дают графическое представление о распределении крупности кусков в той или иной выборке. Построение диаграмм проводилось в прямоугольной системе координат, где аргументом выступал эквивалентный диаметр породного куска, а ординатой — эмпирическая вероятность попадания куска в заданный интервал. Также построены кумулятивные характеристики гранулометрического состава в виде гистограмм или интегральной функции распределения  $F(d)$  крупности породных кусков.

Интегральная  $F(d)$  и дифференциальная  $f(d)$  функции связаны между собой выражением, отражающим вероятность принятия случайной величиной  $d$  значения меньше фиксированной величины:

$$F(x) = \int_0^{\infty} f(x) dx. \quad (2)$$

По виду кумулятивной кривой судят о преобладании крупных или мелких классов в исследуемом кусковатом материале: выпуклые кривые свидетельствуют о преобладании крупных кусков, вогнутые — мелких. Для исследованных выборок обрушенных пород характерны выпуклые кумулятивные характеристики.

Для теоретического описания эмпирических данных проанализированы все законы,

используемые в гранулометрии (нормального и логарифмически нормального распределений, уравнения Розина — Раммлера, Годэна — Андреева и Харриса), и оценена для каждого слоя степень неоднородности обрушенных пород с помощью коэффициента неоднородности  $k_n$  [6, 8]:

$$k_n = d_{60}/d_{10}, \quad (3)$$

где  $d_{60}$  — эквивалентный диаметр породных кусков, мельче которых в выборке содержится 60 %;

$d_{10}$  — то же, соответствующий выходу 10 %.

Результаты расчёта коэффициента неоднородности в каждом слое свода обрушенных пород показали, что  $k_n < 5$ , а значит, кусковатая порода считается однородной по гранулометрическому составу. Об этом также свидетельствует наличие одного значения моды  $M_o$  в каждой выборке, то есть диаметра куса с максимальной плотностью распределения  $f(d)$ .

Нормальный закон используется для объектов, у которых отмечается равенство математического ожидания  $M(d)$ , моды  $M_o$  и медианы  $M_e$ , то есть срединного диаметра куса, для которого ровно половина выборки больше него, а другая половина — меньше. Указанное равенство для исследованных выборок не выполняется.

Логарифмически нормальным законом обычно аппроксимируют экспериментальные распределения с правосторонней асимметрией  $A > 0$ , которая как раз зафиксирована у исследованных обрушенных пород.

Уравнение Розина — Раммлера хорошо согласуется с данными, характерными для тонкоизмельченных продуктов дробления, к которым обрушенные породы не относятся.

Закон Годэна — Андреева в нашем случае не подходит, так как логарифмическая суммарная характеристика «снизу» не является прямолинейной.

Уравнение Харриса не применимо ввиду того, что его используют для описания неоднородных по гранулометрическому составу материалов.

Следовательно, эмпирическая функция распределения с наибольшей вероятностью может быть аппроксимирована лог-нормальным законом распределения [8].

Сравнение эмпирических и теоретических функций распределения для мелкодроблёной и крупнодроблёной породы представлено на рисунке 3.

Логарифмически-нормальный закон распределения аппроксимирует эмпирическую интегральную функцию распределения породных кусков мелкодроблёного свода обрушенных пород с ошибкой 3,7 %, а распределение крупнодроблёных пород — 8,3 %; коэффициент детерминации  $R^2$  составил 91,8 % и 70 % соответственно.

Результаты определения величины эквивалентного диаметра породных кусков в каждом исследованном слое обрушенных пород приведены в таблице 1.

На основании анализа полученных данных можно отметить, что с удалением от почвы отработанных пластов размеры породных кусков в своде обрушения растут. Сделанный вывод подтверждается трендом изменения математического ожидания размера породного куска ( $d$ ) от расстояния до почвы отработанного пласта ( $h$ ), построенным по всем выборкам и имеющим вид, который в этом интервале близок к линейной зависимости

$$d = 0,026 \cdot h + 0,34, \text{ м.} \quad (4)$$

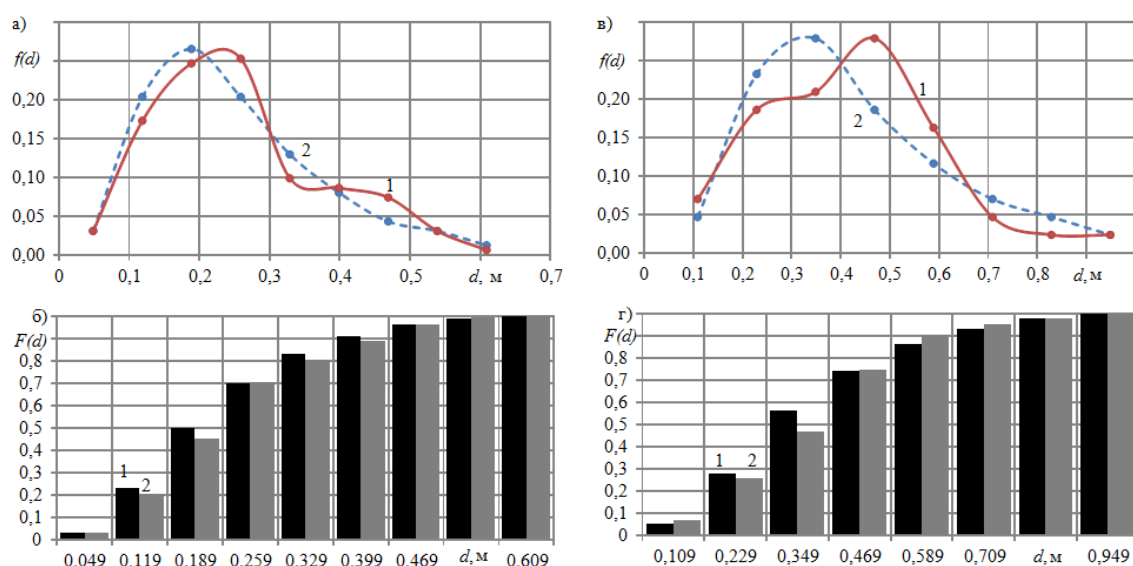


Рисунок 3 Эмпирические (1) и теоретические (2) функции распределения: дифференциальные (а, в — соответственно мелко- и крупнодроблёных пород) и интегральные (б, г — соответственно мелко- и крупнодроблёных пород)

Таблица 1

Характеристика обрушенных пород в исследованных выборках

Породная выборка	Расстояние от почвы, м	Диаметр куска, м				Статистические параметры		
		$d_{cp}$	$M(d)$	$M_o$	$M_l$	$\sigma_d^2$	$\sigma_d, \text{м}$	$A$
Мелкодробленый слой	0,6	0,26	0,25	0,26	0,24	0,015	0,12	0,64
Крупнодробленый слой	2,4	0,42	0,42	0,47	0,43	0,034	0,185	0,003
Блочная среда	5,0	0,54	0,53	0,52	0,52	0,007	0,08	0,52
	9,0	0,62	0,61	0,51	0,56	0,053	0,23	0,45
	19,0	0,8	0,83	0,73	0,8	0,03	0,17	0,53

В целом по высоте свода обрушенные и уплотнённые породы неоднородны по гранулометрическому составу и включают в себя несколько сравнительно однородных слоёв кровли.

При управлении кровли полным обрушением у почвы отработанного пласта располагается слой мелкодроблёных пород, образуемый из пачки непосредственной кровли, которая легко обрушается в выработанном пространстве при удалении призабойной и посадочной крепи или секций механизированной крепи. По мере продвижения лавы эти породы отделяются по плоскостям ослабления, ломаются при падении на отдельные куски, измельчаются под действием ударов и веса вышележащей толщи. Высота мелкодроблёного слоя близка к мощности вынутаго угольного пласта и зависит от литологического состава пород и степени их метаморфизма. Породные куски в этом слое располагаются хаотично, выделить направление преимущественного распространения контактных трещин нельзя, а пустотность пород визуально не прослеживается. Эквивалентный диаметр кусков здесь варьирует от 5 до 53 см, а в среднем составляет 25 см. Интенсивность трещиноватости  $1/d=4$ .

Над мелкодроблёными породами залегает более мощный крупнодроблёный слой, высоту которого обычно принимают равной  $(3-6) \cdot m$ , где  $m$  — мощность вынутаго угольного пласта [1]. По данным исследований, размер породных кусков здесь возрастает по мере удаления от почвы пласта и изменяется от 10 см до 90 см, а в среднем составляет 42–46 см. Интенсивность трещиноватости крупнодроблёных пород равна 2,2.

Расположение породных кусков друг относительно друга постепенно приобретает некоторую упорядоченность, плавно переходящую к блочной структуре следующего слоя — зоны связного опускания

пород. Породная толща в виде блочной структуры простирается от крупнодроблёного слоя вглубь массива до зоны плавного прогиба породных слоёв. Исходя из предположения, что у верхней границы этой толщи интенсивность трещиноватости массива  $1/d \leq 0,25$ , можно оценить её высоту путём экстраполяции зависимости эквивалентного размера породного куска от расстояния до почвы отработанного пласта. При учёте коэффициента вариации она составила 125–193 м, что не противоречит работе [1], в которой приблизительная высота свода обрушения принимается равной  $0,8L$ , где  $L$  — длина лавы, м. Учитывая, что длина лав изменяется в диапазоне 150–300 м, то по Зборщику М. П. высота свода равняется 120–240 м.

**Выводы.** Обрушенный массив разбит на слои, отличающиеся гранулометрическим составом. В пределах каждого слоя породы можно считать однородными. Нижний слой представлен кусками породы со средним диаметром 25 см, имеет мощность, близкую к мощности вынутаго пласта ( $m$ ). Над ним располагается слой крупнодроблёных пород мощностью 3...6 м, в котором диаметр кусков изменяется от 10 до 90 см. Крупнодроблёный слой плавно переходит в блочную структуру с размерами кусков, превышающими 1 м.

Средний размер структурного блока является случайной величиной с логарифмически нормальным распределением, при этом он линейно увеличивается по мере удаления от почвы пласта. Исходя из тренда его изменения, предположительная высота свода обрушения 125–193 м.

В пределах каждого слоя обрушенный массив может считаться квазисплошным, так как размер исследуемой области на три порядка больше среднего размера структурного блока, и для его описания применимы методы теории сплошной среды.

## Библіографічний список

1. Зборицик, М. П. Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве [Текст] / М. П. Зборицик. — К. : Техніка, 1978. — 178 с.
2. Симанович, А. М. Охрана выработок на глубоких шахтах [Текст] / А. М. Симанович, М. А. Сребный. — М. : Недра, 1976. — 144 с.
3. Назимко, В. В. Геомеханические основы устойчивости подготавливающих выработок в зонах разгрузки при воздействии очистных работ [Текст] : дис. д-ра техн. наук : 05.15.02, 05.15.11 / Назимко Виктор Викторович ; НГУ. — Днепропетровск, 1990. — 364 с.
4. Пилюгин, В. И. Обоснование параметров расположения и способов повышения устойчивости выработок, поддерживаемых в обрушенной и уплотнённой толще пород [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.15.02 / Пилюгин Виталий Иванович. — Донецк : ДПИ, 1988. — 16 с.
5. Компьютерное моделирование напряжённо-деформированного состояния пород вокруг пластовой выработки. Книга 1. Допредельная стадия деформирования системы «порода – крепь» [Текст] : монография / В. И. Бондаренко и др. — Днепропетровск : Системные технологии, 2006. — 172 с.
6. Батугин, В. А. Гранулометрия геоматериалов [Текст] : монография / В. А. Батугин, А. В. Бирюков, Р. М. Кылатчанов. — Новосибирск : Наука, 1989. — 173 с.
7. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия [Текст] : учебник для вузов / А. Н. Лобанов, М. И. Буров, Б. В. Краснопецев. — М. : Недра, 1987. — 309 с.
8. Математическая статистика [Текст] : учебник для техникумов / под ред. А. М. Длина. — М. : Высшая школа, 1975. — 399 с.

© Бабиюк Г. В.

© Доценко О. Г.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г., зам. директора по экономике и финансам филиала «Шахта Никонор-Новая» Линником С. А.**

Статья поступила в редакцию 10.06.19.

**д.т.н. Бабиюк Г. В. (ДУИТ, м. Київ, Україна), Доценко О. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**  
**ШАХТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАСИВУ ОБРУШЕНИХ ПОРІД**

Викладено результати досліджень гранулометричного складу незв'язних, обрушених і ущільнених порід покрівлі вугільного пласта після його відробки лавою. Надано статистичну оцінку розмірів породних шматків в залежності від відстані до підшови відпрацьованого пласта і структури обрушених порід.

**Ключеві слова:** обрушені породи, виробка, розмір шматка, еквівалентний діаметр, інтенсивність тріщинуватості, статистика, щільність розподілу, лава, склепіння обвалення.

**Doctor of Technical Sciences Babiyuk G. V. (SUIT, Kiev, Ukraine), Dotsenko O. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**UNDERGROUND INVESTIGATIONS OF STRUCTURAL AND MECHANICAL FEATURES OF THE ROCK MASS CAVING**

There have been given the research results on granulometric composition of bondless, caved and pressed roof rocks of the coal layer after its longwall mining. There has been given the statistical assessment for sizes of rock pieces depending on distance to the footwall of the worked-out layer and the structure of caved rocks.

**Key words:** caved rocks, workings, lump size, equivalent diameter, intensity of jointing, statistics, density of distribution, longwall, cave roof.

УДК 622.28.043.23

к.т.н. Леонов А. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, leonand@ya.ru)

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ ПОДАТЛИВОСТИ РАМНОЙ КРЕПИ ИЗ СПЕЦПРОФИЛЯ

*Путём лабораторных испытаний натурных образцов на прессе ИПС-500 получены диаграммы деформирования узлов податливости из шахтного спецпрофиля. Установлены экспериментальные регрессионные модели для определения несущей способности узлов податливости с замками ЗПП и ЗПК в зависимости от усилия затяжки гаек и типа спецпрофиля.*

**Ключевые слова:** подготовительная выработка, рамная крепь, узел податливости, диаграмма деформирования, рабочее сопротивление, несущая способность.

**Актуальность, цель и задачи исследований.** Основным средством обеспечения устойчивости подготовительных выработок на угольных шахтах Донбасса является арочная податливая крепь (КМП–А3, А4, А5) из шахтного специального профиля (СВП–22, 27 и 33) с поперечным сечением выработки 10–16 м<sup>2</sup>, плотностью установки рам 1–2 рамы и расходом металла 600–1000 кг на погонный метр выработки. Толчком для столь широкого применения податливой крепи на глубоких горизонтах угольных шахт явились результаты шахтных исследований, выполненных в Донбассе в 60-х годах прошлого столетия, и сделанный на их базе в ДонУГИ вывод о нецелесообразности управления состоянием приконтурного породного массива путём увеличения несущей способности крепи [1, 2].

В основу выбора параметров податливой крепи положен принцип определения площади поперечного сечения выработки с запасом на осадку пород за весь срок её службы. Обычно считается, что в случае совпадения направления преобладающих смещений пород и конструктивной податливости крепи она способна с сопротивлением  $N_s = 130\text{--}340$  кН, которое задают узлы податливости, без существенных деформаций профиля компенсировать от 400 до 1000 мм смещений пород. На рабочее сопротивление крепи в податливом режиме влияет ряд факторов: условия контактирования крепи с окружающим выработку

массивом горных пород, наличие забутовки закрепного пространства, тип узла податливости и особенности его установки.

В соответствии с отраслевыми нормативными документами [3, 4] для обеспечения рабочего сопротивления затяжка гаек типовых узлов податливости должна проводиться до момента начала изгиба прямых планок. При этом закручивание гаек производят на шахтах вручную, а усилие затяжки не регистрируют. Поэтому в ряде случаев гайки на скобах узлов оказываются зажатыми до такой степени, что крепь работает в жёстком режиме, при этом она деформируется и выходит из строя ещё до наступления податливости в узлах. И, наоборот, часто узел зажимают настолько слабо, что рама смещается без сопротивления и несущая способность крепи не используется.

В связи с этим актуальной является задача определения характеристик деформирования узлов податливости для рамной крепи из спецпрофиля.

**Цель исследований** заключалась в построении диаграмм деформирования узлов податливости с прямой планкой и П-образной скобой — ЗПП и с огибающей планкой и укороченной П-образной скобой — ЗПК (рис. 1) для спецпрофилей типа СВП–22, СВП–27 и СВП–33 при различной величине затяжки гаек (100, 200, 300 и 400 Н·м) для установления сопротивления этих замковых соединений в податливом режиме работы крепи.



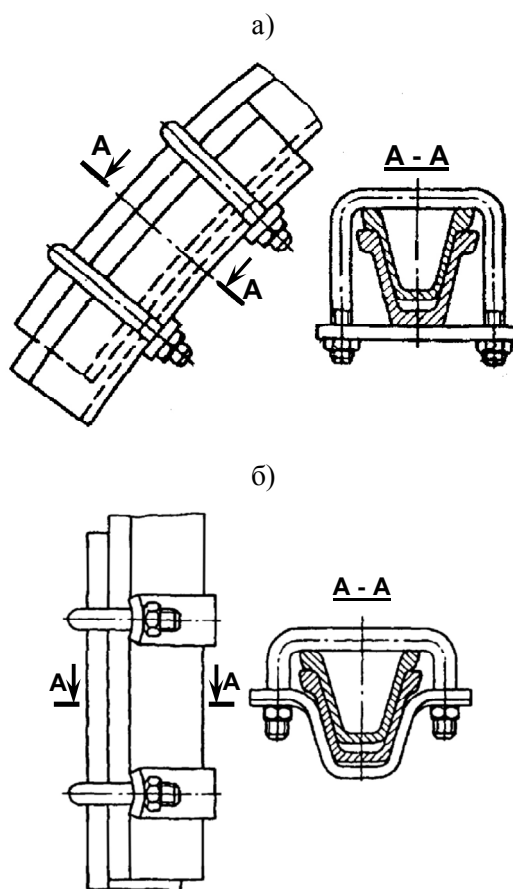


Рисунок 1 Резьбовые замковые соединения ЗПП (а) и ЗПК (б) металлических податливых крепей из спецпрофиля

**Идея работы** состояла в учёте влияния усилия затяжки гаек узлов податливости и типа специального профиля СВП на величину сопротивления замковых соединений ЗПП и ЗПК в податливом режиме работы крепи.

**Объект исследований** — узел податливости рамной крепи из спецпрофиля.

**Предмет исследований** — рабочее сопротивление замковых соединений типа ЗПП и ЗПК в податливом режиме.

**Задачи исследований** заключались в проведении экспериментальных испытаний узлов для соединения элементов податливой крепи из спецпрофиля, установлении закономерностей деформирования узлов податливости под нагрузкой и разработке математической модели для определения сопротивления узлов податливости в рабочем режиме.

**Методика проведения лабораторных испытаний узлов податливости.** Основной характеристикой металлической податливой крепи из спецпрофиля является зависимость между сопротивлением крепи в податливом и жёстком режимах работы и смещениями узлов податливости и арки (рамы) в целом. Получение такой характеристики строгими теоретическими методами наталкивается на серьёзные трудности, что вызывает необходимость в принятии гипотетических моделей и разработке приближенных методов. Проверить получаемые при этом результаты можно лишь путём непосредственных испытаний крепи, которые проводят на стендах в лабораторных условиях.

Стендовые испытания предполагают наличие оборудования [5, 6], которое имеется лишь в специализированных организациях, и изготовление крепи в натуральную величину, что требует дополнительных затрат. Поэтому экспериментальные исследования были проведены на полномасштабных образцах узлов податливости, изготовленных из натуральных деталей, которые испытывались на прессе для испытания строительных конструкций, что позволило получить искомые рабочие характеристики узлов податливости с минимальными затратами. Следует отметить, что при испытаниях криволинейный профиль арочной крепи был заменён прямолинейными отрезками, что вносит некоторые изменения в реальную схему работы узла податливой арочной крепи, но при больших радиусах закругления звеньев (верхняка и стойки) вполне допустимо.

Исследование несущей способности узлов податливости с различной величиной затяжки натяжных гаек проводилось в лабораторных условиях на прессе ИПС–500. Пресс обеспечивает усилие нагружения до 500 т. При нагружении образцов узлов податливости отсчёты брались по шкале с пределом измерения от 0 до 100 т и ценой делений 0,2 т. Погрешность измерения не превышала 1 % от величины нагрузки (со-

гласно данным тарировки пресса). Измерение перемещений в узлах податливости производилось прогибомерами 6ПАО.

Для проведения испытаний использовался специальный профиль трёх типоразмеров: СВП–22, СВП–27 и СВП–33. Образцы узлов податливости изготавливали из прямолинейных отрезков профилей длиной 1000 мм, которые соединяли с нахлёсткой 400 мм крепёжными деталями узлов податливости двух видов: с прямой планкой (ЗПП) и с облегающей фигурной планкой (ЗПК). Гайки замков затягивали с одинаковым крутящим моментом 100, 200, 300 и 400 Н·м, который контролировался с помощью динамометрического ключа предельного типа серии 690. Механизм регулирования значения крутящего момента силы, при которой происходит срабатывание предельного механизма, обеспечивает относительную погрешность до  $\pm 4\%$ .

Схема устройства для проведения испытаний узлов податливости представлена на рисунке 2.

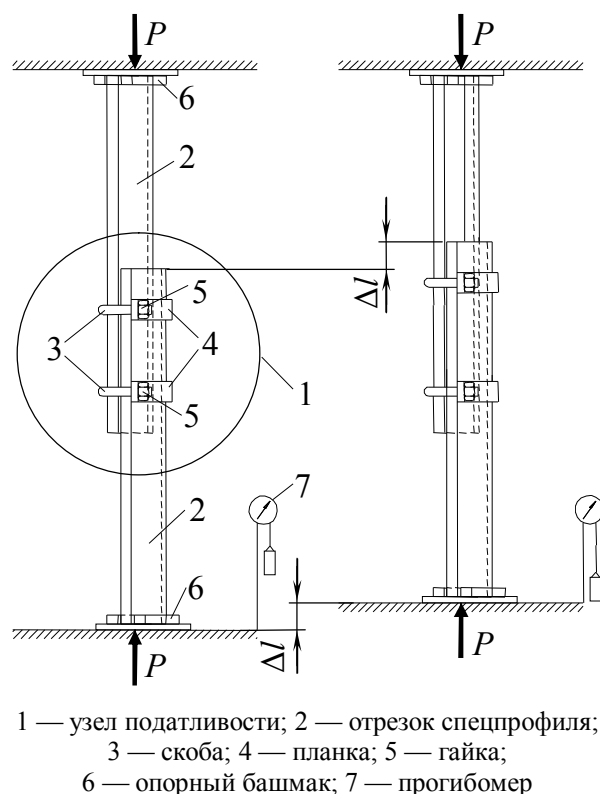


Рисунок 2 Схема испытания узлов податливости на прессе

Сущность метода для исследования рабочих характеристик узлов податливости заключалась в измерении величины продольных перемещений  $\Delta l$  в нахлёстке отрезков спецпрофиля в зависимости от нагрузки  $P$ , передаваемой прессом при заданных усилиях затяжки скоб, с помощью которых регулировали трение между профилями.

Перед испытанием отрезки спецпрофилей соединяли между собой с помощью деталей испытываемого узла податливости и затягивали гайки с требуемым крутящим моментом. Собранный образец узла податливости устанавливали вертикально между опорными плитами пресса. Для надёжной и безопасной фиксации образцов на верхний и нижний торцы профилей надевали съёмные опорные башмаки. Нагрузку на образцы прикладывали плавно и фиксировали по заданным перемещениям в узлах податливости с интервалом 1 мм.

**Закономерности деформирования узлов податливости.** В качестве примера на рисунке 3 представлены результаты экспериментальных исследований сопротивления узлов податливости ЗПП и ЗПК для спецпрофиля СВП–22. Аналогичные диаграммы деформирования получены для СВП–27 и СВП–33. По мере перемещения спецпрофилей в нахлёстке относительно друг друга нагрузка, воспринимаемая узлом податливости за счёт трения сопрягаемых поверхностей, возрастает, причём максимальный прирост усилия наблюдается при перемещениях до 0,2 см. Далее, при проскальзывании профилей сопротивление несколько стабилизируется, причём общая тенденция случайным образом нарушается вторичными эффектами, связанными с вдавливанием, вытяжкой, разворотом и подвижками П-образных скоб из круглых прутков, особенно для узла податливости ЗПП, что обуславливает некоторую изменчивость показателей. Сравнение графиков показало, что для всех типов спецпрофилей сопротивление узла податливости ЗПК значительно выше аналогичного показателя для типового узла, причём по мере увеличения затяжки гаек разница увеличивается.

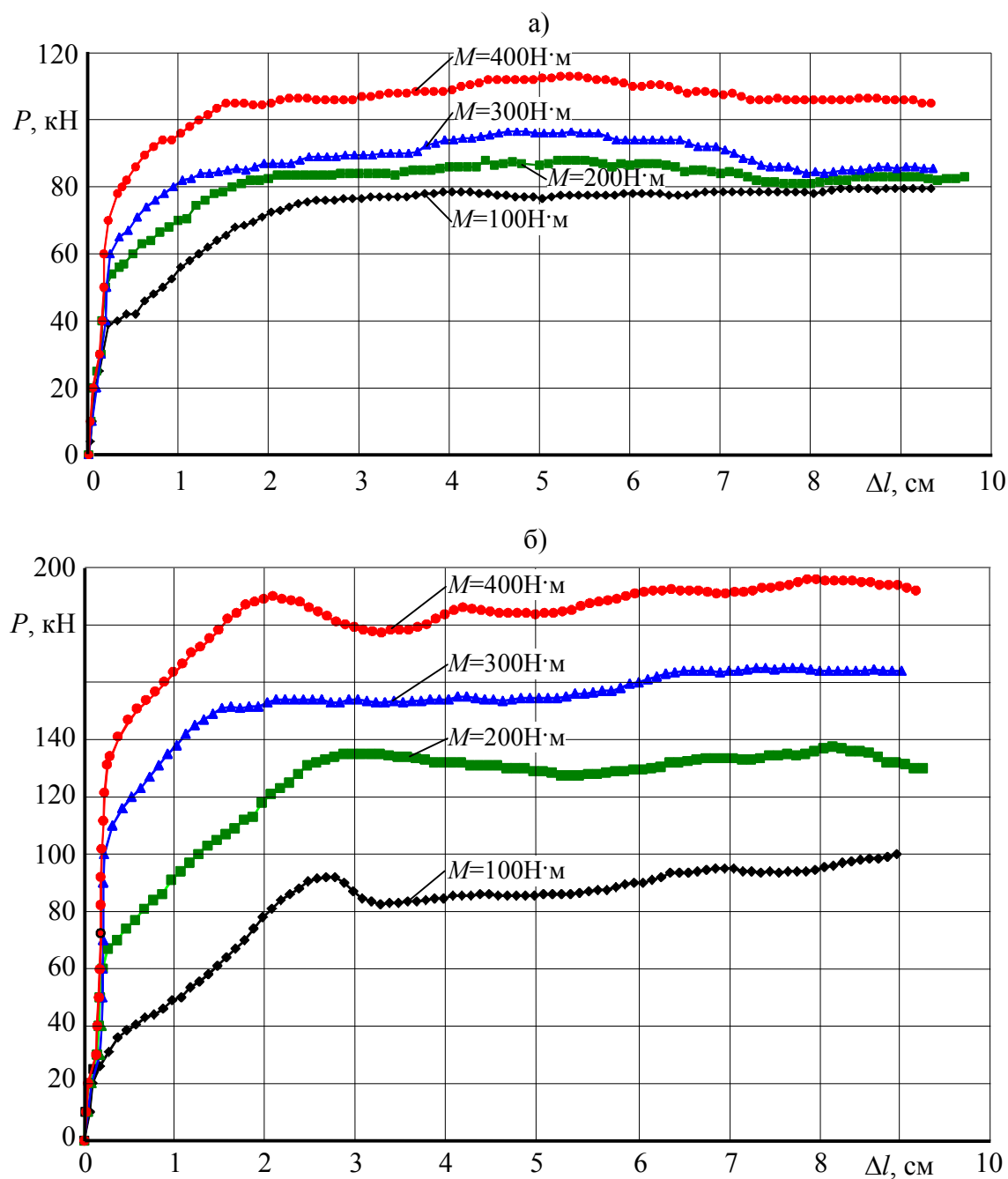


Рисунок 3 Диаграммы деформирования узлов податливости ЗПП (а) и ЗПК (б) для СВП–22 с различным усилием затяжки гаек

Минимальное сопротивление характерно для спецпрофиля СВП–22, а максимальное — для СВП–33. С ростом момента затяжки гаек сопротивление увеличивается для обоих узлов, причём для замков ЗПК в большей степени. Абсолютный максимум сопротивления наблюдается для узла податливости ЗПК и спецпрофиля

СВП–33 при усилии затяжки гаек  $400 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и составляет  $P = 380 \text{ кН}$  при перемещениях  $9 \text{ см}$ .

Если аппроксимировать диаграммы кусочно-линейными зависимостями, представленными на рисунке 4, то на графиках можно выделить три характерных участка с различным наклоном прямых.

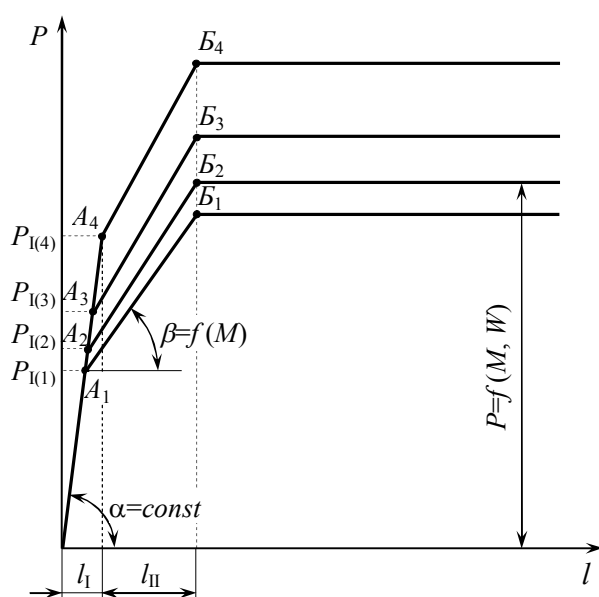


Рисунок 4 Кусочно-линейные зависимости для аппроксимации диаграммы деформирования узла податливости

Первый участок является практически линейным, он характеризует жёсткость конструкции узла в начальный момент нагружения и наблюдается до тех пор, пока действующая нагрузка не превысит трение взаимодействующих профилей. Этот участок диаграммы деформирования хорошо аппроксимируется прямой, выходящей из начала координат со средней жёсткостью для замка ЗПП — 28,9 МН/м и для замка ЗПК — 35,6 МН/м. Угол наклона прямой на этом участке мало зависит от вида замка, типа спецпрофиля и усилия затяжки гаек и может быть принят константой ( $\alpha = 88^\circ$ ). Прямая первого участка характеризуется малыми перемещениями  $l_I = 0,1\text{--}0,2$  см и ограничивается значением усилия  $P_I$  (от 22 кН до 140 кН), которое свидетельствует о начале срабатывания узла податливости. В пределах этого участка среднее квадратическое отклонение нагрузки  $\sigma_p = 3,9$  кН, а коэффициент вариации не превышает 21 %. Величина максимального усилия  $P_I$  на первом участке диаграммы в меньшей степени зависит от вида замка и типа СВП, а в большей — от момента затяжки гаек. При этом чем более возрастает момент  $M$ , тем

выше сила трения в нахлестке профилей, что ведёт к росту усилия  $P_I$ , при котором начинаются подвижки в узле податливости.

Далее на диаграммах следует нелинейный участок перехода от жёсткого режима работы замка в податливый, где зависимость постепенно выполаживается до предельного сопротивления узла. Отрезок кусочно-линейной зависимости, аппроксимирующий этот участок, начинается с точки  $A$ , обусловленной  $P_I$ , и заканчивается в точке  $B$ , месторасположение которой ограничивается вторым пороговым значением перемещений  $l_{II}$ , приблизительно равным для СВП-22 — 2 см, СВП-27 — 3 см и СВП-33 — 4 см. Он характеризуется ограниченным интервалом перемещений (от 0,1 см до 1,7 см для замка ЗПП и от 0,2 см до 3,5 см для замка ЗПК) и углом наклона аппроксимационной прямой  $\beta = 67^\circ$  для замка ЗПП и  $\beta = 73^\circ$  для замка ЗПК. В пределах этого участка среднее квадратическое отклонение нагрузки  $\sigma_p = 6,66$  кН, а коэффициент вариации не превышает 2,6 %.

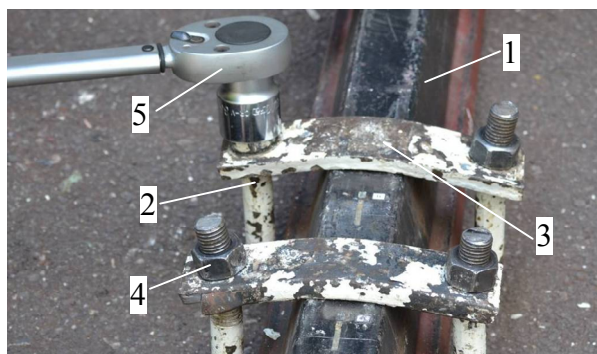
Третий участок соответствует устоявшемуся перемещению профилей в узле податливости с постоянным сопротивлением, равным его несущей способности. Идеализированные аппроксимационные зависимости на этом участке представляют собой горизонтальную прямую, соответствующую среднему значению сопротивления  $P = f(M, W)$  определённого узла податливости с заданным усилием затяжки гаек, изготовленного из того или иного профиля, при различной величине перемещения профилей в нахлестке, тогда как реальные кривые варьируют вокруг этой прямой с коэффициентом вариации 7,7 % для замка ЗПП и 10,2 % для замка ЗПК.

Для СВП-22 наименьшее значение абсолютной величины сопротивления узлов податливости  $P$  в пределах 72,5...79,5 кН обеспечивается узлом податливости ЗПП, а наибольшее 179...196 кН соответствует замку ЗПК. Для СВП-27 минимальные пределы варьирования  $P$  соответственно составляют 71,2...94,3 кН для ЗПП, а мак-

симальные 212,3...300,1 кН для ЗПК. И, наконец, для СВП–33 минимальные пределы варьирования  $P$  равны 92,6...112,8 кН для ЗПП, а максимальные — 292,6–379 кН для ЗПК, причём, независимо от типа замка, минимальные значения сопротивления соответствуют крутящему моменту 100 Н·м.

Следует отметить, что прямая планка узла ЗПП начинала изгибаться при крутящем моменте 100 Н·м, а огибающая планка замка ЗПК начинала деформироваться при крутящем моменте 200 Н·м. Реальные деформации прямой планки типового замка податливости (ЗПП), а также П-образной скобы, зафиксированные в ходе эксперимента, демонстрируются на рисунке 5.

Приведённый рисунок подтверждает не работоспособность типового узла податливости и невозможность обеспечения с его помощью не то что повышенного, но и даже нормативного сопротивления крепи в податливом режиме работы. Следует заметить, что элементы узла податливости ЗПК также деформировались при затяжках гаек, но существенно меньше. Кроме того, испытания показали, что для узла податливости ЗПК обязательным условием является контактирование огибающей планки с фланцами профиля. Если это условие не соблюдается, то планка также существенно изгибается, при этом сопротивление узла податливости также падает.



1 — отрезок спецпрофиля; 2 — скоба;  
3 — деформированная планка;  
4 — гайка; 5 — динамометрический ключ

Рисунок 5 Общий вид узла податливости ЗПП при затяжке гаек с усилием 300 Н·м

Графическая зависимость среднего сопротивления узлов податливости ЗПП и ЗПК от усилия затяжки гаек для различных профилей приведена на рисунке 6, из которого следует, что с ростом усилия затяжки сопротивление узлов податливости возрастает практически линейно.

Сравнивая между собой замковые соединения ЗПП и ЗПК, можно отметить, что во всех случаях абсолютная величина сопротивления замка ЗПК в рабочем режиме выше, чем аналогичный показатель у замка ЗПП. При этом для СВП–22 отношение величин сопротивлений для усилия затяжки гаек 100, 200, 300 и 400 Н·м соответственно составляет 1,15, 1,56, 1,75 и 1,74, тогда как для СВП–33 это отношение соответственно равно 1,44, 1,96, 2,19 и 2,17. Следовательно, чем выше крутящий момент, тем эффективнее узел податливости ЗПК по сравнению с ЗПП.

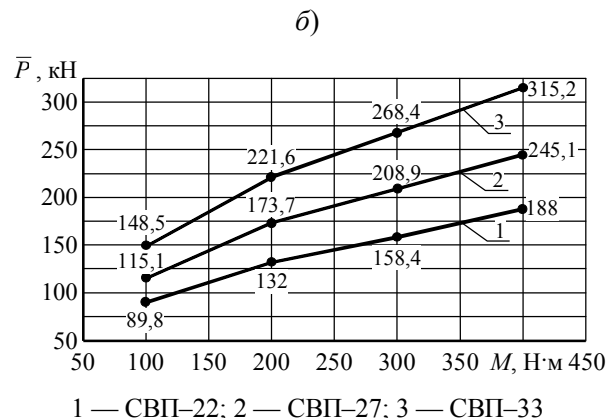
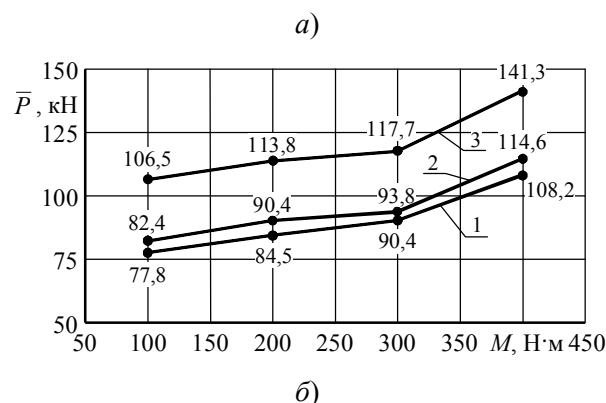


Рисунок 6 Зависимость среднего сопротивления узлов податливости ЗПП (а) и ЗПК (б) от усилия затяжки гаек для различных профилей

**Зависимости для определения сопротивления узлов податливости в рабочем режиме.** Проведённые испытания узлов податливости с замками ЗПП и ЗПК показали, что в рабочем режиме диаграммы деформирования (рис. 3) характеризуются относительно стабильной величиной их сопротивления, которое зависит от двух факторов: усилия затяжки гаек и типа спецпрофиля СВП, являющихся в данном случае управляющими параметрами крепи. Для того чтобы получить при минимальном числе опытов и одновременном гарантировании заданной точности математические зависимости сопротивления крепи в податливом режиме от управляющих факторов, использовались математические методы планирования эксперимента [7, 8].

При эксперименте объект исследования представлялся в виде модели «чёрного ящика» с двумя входными и одним выходным параметрами. В качестве выходного параметра служит сопротивление крепи в податливом режиме  $P$  (кН), а в качестве входных — предельный крутящий момент закручивания гаек  $M$  (Н·м) и момент сопротивления СВП в плоскости изгиба  $W$  (см<sup>3</sup>).

Область определения факторного пространства для  $M$  и  $W$  установлена на основании априорной информации, при этом каждый фактор определён на двух экстремальных уровнях (верхнем и нижнем), сведения о которых приведены в таблице 1, где минимальное значение  $W$  соответствует СВП–22, максимальное — СВП–33, а промежуточное — СВП–27. Во время эксперимента узел податливости крепи под нагрузкой как система подвержен воздействию также ряда случайных неуправляемых входов. Поэтому в общем случае модель выхода имеет следующий вид:

$$y = \eta(\bar{x}) + \varepsilon(\bar{x}), \quad (1)$$

где  $\eta(\bar{x})$  — функция отклика или неслучайная функция зависимости сопротивления того или иного узла от влияющих факторов;

$\varepsilon(\bar{x})$  — ошибка опыта, распределение которой определяется значением вектора  $\bar{x}$ , а математическое ожидание  $m[\varepsilon(\bar{x})] = 0$ ;

$\bar{x}$  — вектор факторов, который изображается точкой в факторном пространстве  $x_j, j = 1, 2, \dots, k$ ; если обозначить через  $i$  номер опыта ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), то комплекс условий  $i$ -го опыта можно записать как  $\bar{x}_i = |x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}|$ , где  $x_{ij}$  — уровень  $j$ -го фактора в  $i$ -ом опыте;  $k$  — число факторов, равное в данном случае  $k = 2$ .

По полученным из опыта диаграммам оценить функцию отклика можно лишь приближённо. Значение этой функции в фиксированной точке факторного пространства равно математическому ожиданию переменной, то есть  $\eta(x) = m[y(x)]$ . Так как вид функции нам заранее неизвестен, она представлялась уравнением в виде полинома

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^n b_j x_j + \sum b_{jl} x_j x_l + \sum b_{jj} x_j^2, \quad (2)$$

( $j, l = 1, 2, \dots, k$ ),

где  $b_0, b_j, b_{jl}, b_{jj}$  — коэффициенты регрессии.

Для упрощения записи условий эксперимента масштабы по осям факторного пространства выбраны так, чтобы верхний уровень соответствовал (+1), нижний (–1), а основной (0). Преобразование натурального значения фактора  $\tilde{x}_j$  в кодированное  $x_j$  производится с помощью выражения [7]

$$x_j = (\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j0}) / I_j, \quad (3)$$

где  $x_j$  и  $\tilde{x}_j$  — соответственно натуральное и кодированное значение  $j$ -го фактора;  $\tilde{x}_{j0}$  и  $I_j$  — натуральное значение основного уровня и интервал варьирования.

Подставляя в (3) значения входящих величин, получим переходные выражения для факторов:

$$x_1 = \frac{M - 250}{150}; \quad x_2 = \frac{W - 104,15}{29,35}. \quad (4)$$

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора и единицы измерения	Обозначение фактора	Уровни			Интервал варьирования
		нижний –1	верхний +1	основной 0	
Предельный момент затяжки гаек, Н·м	$x_1$	100	400	250	150
Момент сопротивления СВП, см <sup>3</sup>	$x_2$	75	133	104	29

Расчёт коэффициентов регрессии в уравнении (2) произведён с помощью метода наименьших квадратов в программе MathCAD путём подстановки всех значений функции отклика и влияющих факторов. Полученные математические зависимости в нормированных переменных имеют следующий вид:

– для замка ЗПП:

$$y = 93 + 15 \cdot (x_1 + x_2) + x_1 \cdot x_2 + 8 \cdot (x_1^2 + x_2^2); \quad (5)$$

– для замка ЗПК:

$$y = 199 + 65 \cdot x_1 + 48 \cdot x_2 + 17 \cdot x_1 \cdot x_2 - 11 \cdot x_1^2 - 2 \cdot x_2^2. \quad (6)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии в уравнениях (5) и (6) по критерию Стьюдента показала, что все они значимы.

Полученные зависимости достаточно хорошо соответствуют экспериментальным данным и могут быть использованы при определении сопротивления крепи в рабочем режиме в зависимости от усилия затяжки гаек и типа спецпрофиля, а также для построения номограммы.

### Библиографический список

1. Заславский, Ю. З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна [Текст] / Ю. З. Заславский. — М. : Недра, 1966. — 180 с.
2. Заславский, Ю. З. Расчёт параметров крепи выработок глубоких шахт [Текст] / Ю. З. Заславский, А. Н. Зорин, Н. Л. Черняк. — К. : Техника, 1972. — 156 с.
3. Отраслевая инструкция по применению рамных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт [Текст]. — М. : ИГД им А. А. Скочинского, 1985. — 145 с.
4. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок [Текст]. — СПб. : ВНИМИ, 1991. — 125 с.
5. Ерофеев, Л. М. Повышение надёжности крепи горных выработок [Текст] / Л. М. Ерофеев, Л. А. Мирошникова. — М. : Недра, 1988. — 245 с.

**Выводы.** Проведённые испытания узлов податливости с замковыми соединениями ЗПП и ЗПК позволили сделать следующие выводы.

В рабочем режиме диаграммы деформирования узлов податливости характеризуются стабильной величиной сопротивления, которое зависит от двух факторов: усилия затяжки гаек и типа спецпрофиля СВП, являющихся управляющими параметрами крепи.

С ростом усилия затяжки гаек сопротивление узлов податливости возрастает практически линейно. Увеличение момента затяжки гаек в 4 раза (со 100 Н·м до 400 Н·м) позволяет повысить несущую способность замков ЗПП в рабочем режиме в 1,4 раза, замков ЗПК — в 2,1 раза.

Типовой узел податливости с прямой планкой ЗПП при моменте затяжки гаек с усилием 100 Н·м (начало прогиба планки) не обеспечивает нормативного сопротивления крепи в податливом режиме работы.

Узел податливости ЗПК более эффективен по сравнению с ЗПП и способен обеспечить величину сопротивления в пределах 90...315 кН.

6. Кириченко, В. Я. Несущая способность штрековых металлокрепей из спецпрофиля СВП [Текст] / В. Я. Кириченко // Геотехническая механика : научн. техн. сб. — Днепропетровск : ИГТМ НАН Украины, 2009. — № 83. — С. 55–65.

7. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М. : Наука, 1976. — 279 с.

8. Володарский, Е. П. Планирование и организация измерительного эксперимента [Текст] / Е. П. Володарский, Б. Н. Малиновский, Ю. М. Туз. — К. : Вища шк., 1987. — 280 с.

© Леонов А. А.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г.,  
директором филиала «Шахтоуправление „Луганское“»  
ГУП ЛНР «Центруголь» Чепурным Д. С.**

Статья поступила в редакцию 05.06.19.

**к.т.н. Леонов А. О.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, [leonand@ya.ru](mailto:leonand@ya.ru))

#### **ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВУЗЛІВ ПІДДАТЛИВОСТІ РАМНОГО КРІПЛЕННЯ ІЗ СПЕЦПРОФІЛЮ**

Шляхом лабораторних випробувань натурних зразків на пресі ППС-500 отримано діаграми деформування вузлів піддатливості із шахтного спецпрофілю. Встановлено експериментальні регресивні моделі для визначення несучої здатності вузлів піддатливості із замками ЗПП і ЗПК в залежності від зусилля затягування гайок і типу спецпрофілю.

**Ключові слова:** підготовка виробка, рамне кріплення, вузол піддатливості, діаграма деформування, робочий опір, несуча здатність.

**PhD in Engineering Leonov A. A.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, [leonand@ya.ru](mailto:leonand@ya.ru))

#### **LABORATORY STUDIES OF YIELDING JOINTS OF SPECIAL PROFILE FRAME SUPPORT**

By laboratory tests of full-scale specimen for the press IPS-500 there have been obtained the deformation diagrams of yielding joints of mine special profile. There have been established the experimental regression models to determine the bearing capacity of yielding joints with the locks of the ZPP and ZPK depending on the tightening force of the nuts and type of special profile.

**Key words:** development working, frame support, yielding joint, deformation diagram, working resistance, bearing capacity.



УДК 622.837

Хоружая Н. В.,  
Доценко О. Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР,  
natasha.horujaya@gmail.com, dotcenkoo@mail.ru)

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДИКИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСЕДАНИЯМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ТРАДИЦИОННОЙ И КОРОТКОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

*Приведены результаты технико-экономического сравнения методики наблюдений за оседаниями и деформациями земной поверхности с помощью короткой наблюдательной станции (КНС) и традиционной станции из грунтовых реперов. Сравнение реализовано по пяти позициям: экономическая эффективность, трудоёмкость маркишейдерских работ, универсальность применения, точность замеров и обеспечение сохранности профильных линий на время наблюдений.*

**Ключевые слова:** наблюдения, деформации, короткая наблюдательная станция (КНС), технико-экономическое сравнение, метод рейтинговых оценок, капитальные и эксплуатационные расходы.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Изучение процесса сдвижения горного массива и земной поверхности посредством натурных инструментальных наблюдений проводится с целью предотвращения аварийных ситуаций при разработке месторождений полезных ископаемых, для повышения безопасности и эффективности горных работ, для обеспечения сохранности и нормальной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных сетей, попадающих в зону влияния очистных работ.

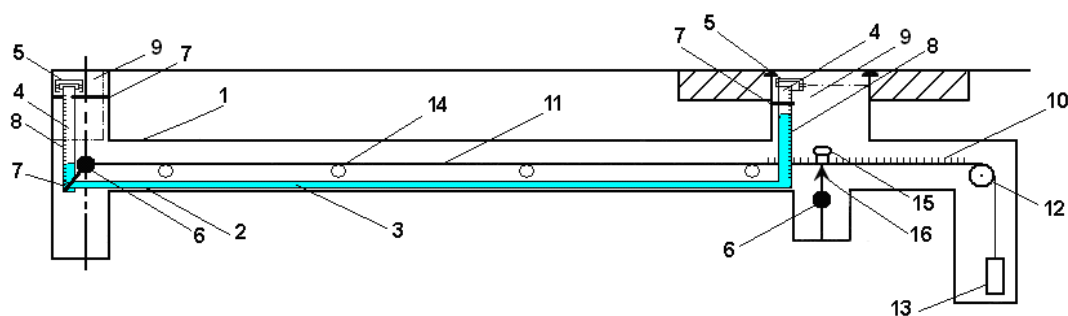
Традиционно по всей профильной линии будущих наблюдений пробуриваются скважины диаметром 150...170 мм, в которых располагаются реперы, изготовленные из металлических арматурных стержней диаметром  $d \geq 20$  мм, и бетонируются в целях обеспечения неподвижности. Плотность установки реперов и периодичность наблюдений определяется инструкцией по наблюдениям за сдвижением горных пород [1]. Наблюдения выполняются круглый год группой маркишейдеров в составе двух человек и предполагают использование специальных приборов, переносимых вручную.

Вопрос совершенствования натурных наблюдений за подрабатываемым участком в

направлении снижения их трудоёмкости, повышения удобства и обеспечения заданной точности замеров — **актуальная задача горного производства**. Для её решения предлагается изменить традиционную методику наблюдений. В работе [2] обосновывается, что достаточно осуществлять контроль на участке, где ожидаются максимальные смещения подработанной поверхности, а именно на расстоянии  $0,32H$  (где  $H$  — глубина разработки, м) от разрезной печи или над целиком. При этом съёмку предлагается выполнять при помощи короткой наблюдательной станции (КНС) [3], представленной на рисунке 1.

Все устройство устанавливается в защитной пластиковой или металлической трубе *1*. На концах исследуемого интервала устанавливаются два репера *б*. Через блок *12* от одного из грунтовых (или стенных) реперов *1* протягивают инварную проволоку *11* на роликах *14* с постоянным подвешенным натяжным грузом *13* для создания горизонтального участка и отсутствия прогиба проволоки *11*. На проволоке *11* напротив второго стенного репера *б* установлена неподвижная горизонтальная шкала с делениями *10* и увеличительной лупой *15* для точности взятия отсчётов. Ко второму реперу *б*

бы 1. При оседании пород или сооружений один конец шланга 2 будет испытывать большее оседание, а жидкость 3 в шланге 2 будет оставаться на одном уровне. Относительное оседание одного из концов шланга 2 будет видно по разности отсчётов на вертикальной шкале 8 с миллиметровыми делениями (исходный уровень жидкости установлен на нулевом делении +10; 0; -10 мм). Чтобы наблюдать за отсчётами в процессе наклона сооружений, в защитной трубе сделано ещё одно смотровое окно 9. Представленное устройство упрощает процедуру снятия показаний, позволяет отказаться от использования нивелиров и теодолитов, что обеспечивает удобство ведения работ и снижает их трудоёмкость.



**Изложение материала и его результаты.** Для расчёта экономической эффективности по сравниваемым вариантам определены приведённые годовые затраты [5]:

Коэффициент экономической эффективности определяется сроками эксплуатации рассматриваемого объекта. Наблюдения ведутся с момента ввода лавы в эксплуатацию и заканчиваются спустя 1–2 года после её остановки. В общей сумме станция эксплуатируется около трёх лет, из чего следует  $E = 1/3 = 0,33$ .

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Под капитальными вложениями (КЗ) следует понимать единоразовые затраты, связанные с заложением наблюдательной станции. Они включают в себя прямые и накладные расходы (табл. 1). Прямые затраты определялись на основании среднерыночных цен на ресурсы и норм их расхода [6–9]. Накладные расходы составляют 160 % трудозатрат [10].

Эксплуатационные расходы ( $Z_{\text{экспл}}$ ) связаны с оплатой труда маркшейдеров, выполняющих съёмку и обрабатывающих результаты замеров. Для определения продолжительности одной серии наблюдений определялись нормы времени на снятие замеров с помощью КНС (табл. 2) и традиционной станции (табл. 3).

С учётом того, что за год проводится в среднем 24 съёмки, при использовании КНС будет затрачено 2 часа в год, а традиционной — 165 часов.

Заработная плата маркшейдеров определяется затраченным временем на выполнение работ и часовой тарифной ставкой.

Годовая сумма эксплуатационных затрат при традиционной наблюдательной станции составит 37300 руб., а при КНС — 2800 руб.

Годовая сумма экономии при использовании КНС — 53760 руб.

В таблице 4 приведено технико-экономическое сравнение вариантов.

Таблица 1

Капитальные затраты по сравниваемым вариантам

Наименование затрат	Затраты по наблюдательной станции, руб.	
	традиционной (51 репер)	короткой
Трудозатраты	850	220
Материалы	62000	6650
Стоимость эксплуатации машин и механизмов	2700	1330
Прямые расходы	65550	8200
Накладные расходы	1360	350
Итого	66910	8550

Таблица 2

Расчёт нормы времени на снятие замеров с помощью КНС

Наименование операции	Затраченное время, мин
Взятие отсчёта по горизонтальной шкале	0,2
То же по вертикальной шкале	0,2
Фиксация взятого отсчёта в регистрационном журнале	0,5
Открыть крышку	0,1
Закрыть крышку	0,1
Переход к соседнему реперу	1
Норма времени на 1 репер	2,1
Итого норма времени на всю станцию (2 репера)	4,2
Неучтённые затраты (20 %)	0,84
Общие затраты времени	5,04

Таблица 3

Расчёт нормы времени на наблюдения при традиционной станции

Наименование операции	Затраченное время, мин
Установка нивелира в рабочее положение	2,3
Взятие отсчёта	1
Фиксация взятого отсчёта в регистрационном журнале	0,3
Измерение расстояний между реперами в прямом и обратном направлении	2,1
Фиксация расстояния в журнале	0,3
Установка рейки на репере	0,5
Переход к другому реперу	0,24
Итого норма времени на 1 репер, мин	6,74
Итого норма времени на всю станцию (51 репер), мин	343,74
Неучтённые затраты времени (20 %), мин	68,75
Общие затраты времени, мин	412,5

На рисунке 2 пунктирной линией показана фигура, которая соответствует идеальному варианту ведения наблюдений. Идеальный способ по пяти сравниваемым критериям был бы оценён на 10 баллов. На рисунке 3а заштрихованный пятиугольник характеризует технико-экономическую эф-

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

фективность традиционной наблюдательной станции. Как видно, у данного метода наблюдений слабыми сторонами будут трудоёмкость выполнения наблюдений (длительность), затраты на его использование и точность получаемых замеров. Площадь заштрихованной фигуры составляет 26 % от площади идеального пятиугольника, что показывает степень соответствия традиционного метода желаемому.

Аналогично на рисунке 3б заштрихованная фигура отражает технико-экономическую эффективность от использования короткой наблюдательной станции. В этом способе ведения наблюдений слабо проработан вопрос сохранности станции от вандализма и прочих возможных повреждений. Соответствие метода желаемому составляет 76 %, что в 3 раза выше, чем традиционного.

Таблица 4

Рейтинговая оценка сравниваемых вариантов наблюдений за деформациями земной поверхности

Критерий сравнения	Значение критерия		Рейтинговая оценка (максимум 10 баллов)	
	традиционная станция	КНС	традиционная станция	КНС
Годовые приведённые затраты, руб.	59380	5620	$\frac{5620}{59380} \cdot 10 = 0,94$	10
Годовая продолжительность наблюдений, ч	165	2	$\frac{2}{165} \cdot 10 = 0,12$	10
Точность замеров, мм	1/10000	1/40000	$\frac{10000}{40000} \cdot 10 = 2,5$	10
Область применения	универсальный способ	сложности при использовании на с/х угодьях	10	8
Сохранность профильной линии	обеспечена	Есть риск повреждений	10	4
Сумма баллов			23,56	42
Средняя рейтинговая оценка			4,71	8,4

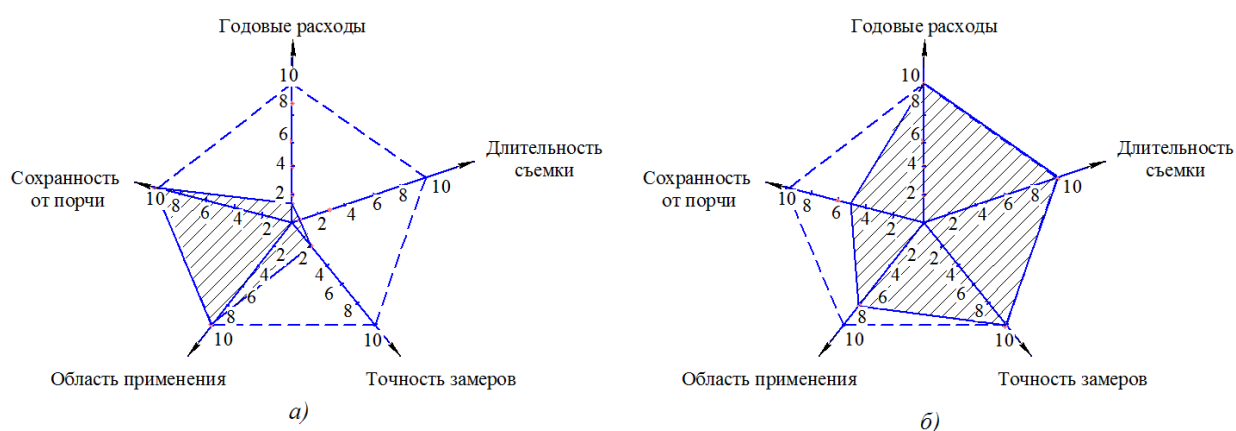


Рисунок 2 Технико-экономическое сравнение вариантов методом рейтинговых оценок (а — традиционная станция из грунтовых реперов; б — КНС)

**Выводы и направление дальнейших исследований.** На основании проведённого технико-экономического сравнения можно сделать следующие выводы в пользу методики наблюдений, основанной на использовании КНС:

– она значительно дешевле традиционной, расчётная годовая сумма экономии от её применения составит 53,7 тыс. руб.;

– заметно снижает трудоёмкость маркшейдерской съёмки;

– позволяет получать результаты замеров с более высокой точностью.

В целом эффективность предлагаемой методики ведения наблюдений в 3 раза выше традиционной.

### Библиографический список

1. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях [Текст] / Мин-во угольной промышленности СССР. — М. : Недра, 1989. — 96 с.

2. Ларченко, В. Г. Зависимость горизонтальных деформаций земной поверхности от ширины выработанного пространства и размеров целиков [Текст] / В. Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ. — СПб., 2000. — № 2 (26). — С. 30–32.

3. Пат. 35377 U Україна, МПК<sup>8</sup> G 01 C 3/08. Пристрій для виміру горизонтальних і вертикальних деформацій товщі гірничих порід і споруд земної поверхні / В. Г. Ларченко, Н. В. Хоружа ; замовник та патентовласник Донбаський державний технічний університет. — № u200805642 ; заяв. 30.04.2008 ; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17. — 4 с. : іл.

4. Методика рейтинговой оценки. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности [Электронный ресурс] / StudRef.com. — Режим доступа: [https://studref.com/384858/ekonomika/metodika\\_reytingovoy\\_otsenki](https://studref.com/384858/ekonomika/metodika_reytingovoy_otsenki) (24.05.19).

5. Лопатников, Л. И. Экономико-математический словарь [Текст] : словарь современной экономической науки / Л. И. Лопатников. — [5-е изд., перераб. и доп.]. — М. : Дело, 2003. — 520 с.

6. Расчёты и планы : расчёт тарифных ставок водителей автомобилей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.busel.org/texts/cat1el/id5dwdcng.htm> (21.05.19).

7. Пропорции бетона : состав [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://okbeton.ru/raschet/sostav-betona.html> (21.05.19).

8. Єдині норми виробітку на гірничопідготовчі роботи для вугільних шахт [Текст] / Мін-во палива та енергетики України, Донецький ЦОП. — К. : Мінпаливенерго України, 2004. — 302 с.

9. Единые нормы выработки и расценки на строительные монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник Е-3-Каменные работы. §ЕЗ-23 Ручное приготовление растворов [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/87620> (21.05.19).

10. Реформирование ценообразования и взаимоотношений в строительстве [Текст] / Госстрой Украины. — К. : НПО «Инпроект», 2000. — 431 с.

© Хоружая Н. В.

© Доценко О. Г.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,  
зам. директора по экономике и финансам филиала  
«Шахта Никонор-Новая» Линником С. А.**

Статья поступила в редакцию 10.06.19.

**Хоружа Н. В., Доценко О. Г.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ПОРІВНЯННЯ МЕТОДИКИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ОСІДАННЯМИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРАДИЦІЙНОЇ ТА КОРОТКОЇ СПОСТЕРЕЖНИХ СТАНЦІЙ**

*Наведено результати техніко-економічного порівняння методики спостережень за осіданнями і деформаціями земної поверхні за допомогою короткої спостережної станції (КСС) і традиційної станції з ґрунтових реперів. Порівняння реалізовано по п'яти позиціях: економічна ефективність, трудомісткість маркшейдерських робіт, універсальність застосування, точність вимірів і забезпечення збереження профільних ліній на час спостережень.*

**Ключові слова:** спостереження, деформації, коротка спостережна станція (КСС), техніко-економічне порівняння, метод рейтингових оцінок, капітальні та експлуатаційні витрати.

**Khoruzhaia N. V., Dotsenko O. G.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**COMPARISON OF THE OBSERVING TECHNIQUE OF THE EARTH'S CRUST SUBSIDENCE USING THE TRADITIONAL AND SHORT OBSERVATION STATION**

*The results of technical and economic comparison of the observing methods of the earth's crust subsidence with a short observation station (SOS) and with a traditional ground reference point station are presented. Comparison is realized on five positions: economic efficiency; labor intensity of surveying; versatility, accuracy of measurements and ensuring the safety of profile lines at the time of observation.*

**Key words:** observations, deformations, short observation station (SOS), technical and economic comparison, rating method, capital and operating expenditures.



**МЕТАЛЛУРГИЯ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

---

---

**МЕТАЛУРГІЯ  
ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

---

---

**METALLURGY  
AND MATERIAL SCIENCES**





УДК 669.18.04:669.89

к.т.н. Куберский С. В.,  
к.т.н. Проценко М. Ю.,  
Воронько М. И.,  
Белан И. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИЗ ПЕСКА В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ РАСПЛАВЫ

*Проанализированы параметры, влияющие на извлечение кремния из кремнийсодержащих материалов. Рассчитана теоретическая температура начала восстановления кремния при разном давлении в зоне реакции и выполнено лабораторное опробование метода дугового глубинного восстановления кремния из песка. Установлена принципиальная возможность использования метода дугового глубинного восстановления для прямого раскисления-легирувания железоуглеродистых расплавов кремнием.*

**Ключевые слова:** внепечная обработка, дуговое глубинное восстановление, кремний, комбинированный электрод, рудно-восстановительная смесь, песок, цемент, каменноугольный пек, электрическая дуга, раскисление-легирувание.

В настоящее время на внутреннем и мировом рынках сохраняется большая потребность в конкурентоспособной металлопродукции высокого качества. По данным официального сайта Всемирной организации стали [1], её мировое производство в 2018 году выросло на 4,6 %, составив 1,809 млрд т. Практика мировой металлургии свидетельствует о том, что для получения высококачественной металлопродукции из чёрных металлов необходимо наличие в производственной технологической схеме внепечной обработки металла, использование которой позволяет обеспечить требуемый его химический состав и температуру перед разливкой. Перенос раскисления-легирувания, десульфурации, гомогенизации и других технологических операций в ковш позволяет повысить производительность плавильного агрегата и снизить себестоимость продукции. Традиционно при раскислении-легировании чёрных металлов используют дорогостоящие ферросплавы, производство которых является энерго- и ресурсоёмким. Наибольшее распространение для раскисления-легирувания стали получили марганцевые и кремнистые

ферросплавы, при производстве которых затраты на шихтовые материалы и электроэнергию составляют 70–80 % от общих затрат, а иногда и больше [2].

Для повышения технико-экономических показателей металлургического производства актуальной является разработка технологий, предусматривающих использование промышленных отходов и вторичных сырьевых материалов для полной или частичной замены традиционной шихты. Одной из таких схем может быть технология дугового глубинного восстановления (ДГВ) раскисляющих, легирующих и рафинирующих элементов непосредственно в жидкий железоуглеродистый расплав. В качестве рудной шихты в технологии ДГВ могут быть использованы относительно бедные по содержанию основного элемента материалы, а также промышленные отходы. Кроме того, метод ДГВ позволяет одновременно решать основные задачи внепечной обработки расплавов — нагрев, раскисление-легирувание, рафинирование, гомогенизация [3]. Для обработки расплава по методу ДГВ предусматривается расположение в тигле индукционной печи или ковше графитового контактного элект-

трода (ГЭ) для зажигания дуги и рудно-восстановительного блока (РВБ), изготовленного из материалов, содержащих оксиды восстанавливаемых элементов и твёрдый восстановитель. В более совершенных схемах ДГВ ГЭ был заменён на второй РВБ [4].

РВБ снабжён комбинированным токопроводящим электродом (КЭ), вокруг которого набита рудно-восстановительная смесь (РВС) из рудного сырья (бой огнеупоров, отвалный шлак или шлак и т. д.), стехиометрически рассчитанного восстановителя (алюминий, кремний или углерод) и связки (жидкое стекло или каменноугольный пек). РВБ и ГЭ в случае обработки одним блоком либо два РВБ при двухблочной технологии подключаются к источнику питания и заглубляются в металлический расплав до момента зажигания и стабильного горения электрической дуги. Тепло, выделяемое в результате горения электрической дуги, интенсивно обогревает расположенную вокруг КЭ РВС. В прогретом до температуры восстановления слое РВС начинают своё развитие реакции восстановления элементов, которые переходят непосредственно в обрабатываемый расплав, осуществляя его раскисление, легирование или рафинирование. Образующиеся при этом оксиды переходят в шлаковую или газовую фазу. В случае образования газообразных продуктов реакции обеспечивается дополнительное перемешивание ванны, что обеспечивает улучшение условий удаления из расплава неметаллических включений, а также его дополнительную гомогенизацию.

Данная технология была успешно реализована для десульфурации чугуна и стали магнием и кальцием, восстанавливаемыми в результате реакций алюминотермии и силикотермии из магнезита, извести и доломита [4, 5]. Кроме того, была разработана технология раскисления-легирования железоуглеродистых расплавов методом ДГВ, позволяющая извлекать марганец из различных марганецсодержащих отходов и бедных руд, а также кремний в случае присутствия в

марганцовистом сырье его оксидов. Достигнутая степень извлечения марганца составила 70–80 %, а кремния — до 27 % [6].

Эффективность разработанных технологий ДГВ обеспечивается за счёт использования более дешёвого сырья, отходов и вторичных материалов, снижения расходов на транспортировку, складирование и хранение, а также непосредственного восстановления необходимых элементов в высокотемпературный металлический расплав, что, наряду с улучшением условий извлечения большинства элементов в присутствии железа, позволяет снизить энергозатраты за счёт использования тепла металлической ванны.

Необходимо отметить, что результаты, полученные при ДГВ марганца, обеспечивают достаточную конкурентоспособность данного метода в сравнении с традиционным раскислением-легированием марганцевыми ферросплавами, а для замены широко используемого в металлургии ферросилиция альтернативными материалами при снижении энергоёмкости процесса необходимы глубокие фундаментальные и прикладные исследования.

Кремний, как и марганец, является важным элементом, входящим в состав практически всех чёрных металлов, применяется как один из основных раскислителей и легирующих элементов чугуна и стали, повышает магнитопроницаемость металла, сопротивление его коррозии и стойкость к окислению. Кремний повышает способность сталей к термическому упрочнению и их износостойкость, увеличивает пределы текучести и упругости, а также особенно важным является при литье деталей из чугуна [7].

Поэтому в работе поставлена задача проанализировать физико-химические параметры процесса восстановления кремния и возможность ДГВ кремния в железоуглеродистый расплав из различных кремнийсодержащих материалов.

Для реализации ДГВ кремния в лабораторных условиях был выбран обычный карьерный песок, богатый диоксидом крем-

ния и достаточно доступный, что обеспечивает относительно небольшие затраты на его добычу и доставку.

Для организации эффективного процесса ДГВ большое значение имеет температурный режим, который в первую очередь зависит от температуры начала восстановления элементов из соединений, входящих в состав рудного сырья.

С учётом того фактора, что песок в основном состоит из кремнезёма ( $\text{SiO}_2$  до 97 %), а наиболее дешёвым и доступным восстановителем является твёрдый углерод, на первом этапе исследований была проведена оценка теоретической температуры начала

углетермического восстановления кремния при стандартных условиях.

Для оценки теоретической температуры начала восстановления из графика, представленного на рисунке 1 [8], было определено ориентировочное значение температуры начала восстановления  $\text{SiO}_2$  углеродом как точки пересечения соответствующих линий для  $\Delta G_{\text{SiO}_2}^0$  и  $\Delta G_{\text{C/CO}}^0$ , которая составляет  $(T_{\text{н.в.}})_{\text{SiO}_2} = 2083 \text{ K}$ .

Основной задачей данного расчёта является определение температурной зависимости  $\Delta G_{\text{SiO}_2}^0$  и  $\Delta G_{\text{C/CO}}^0$ .

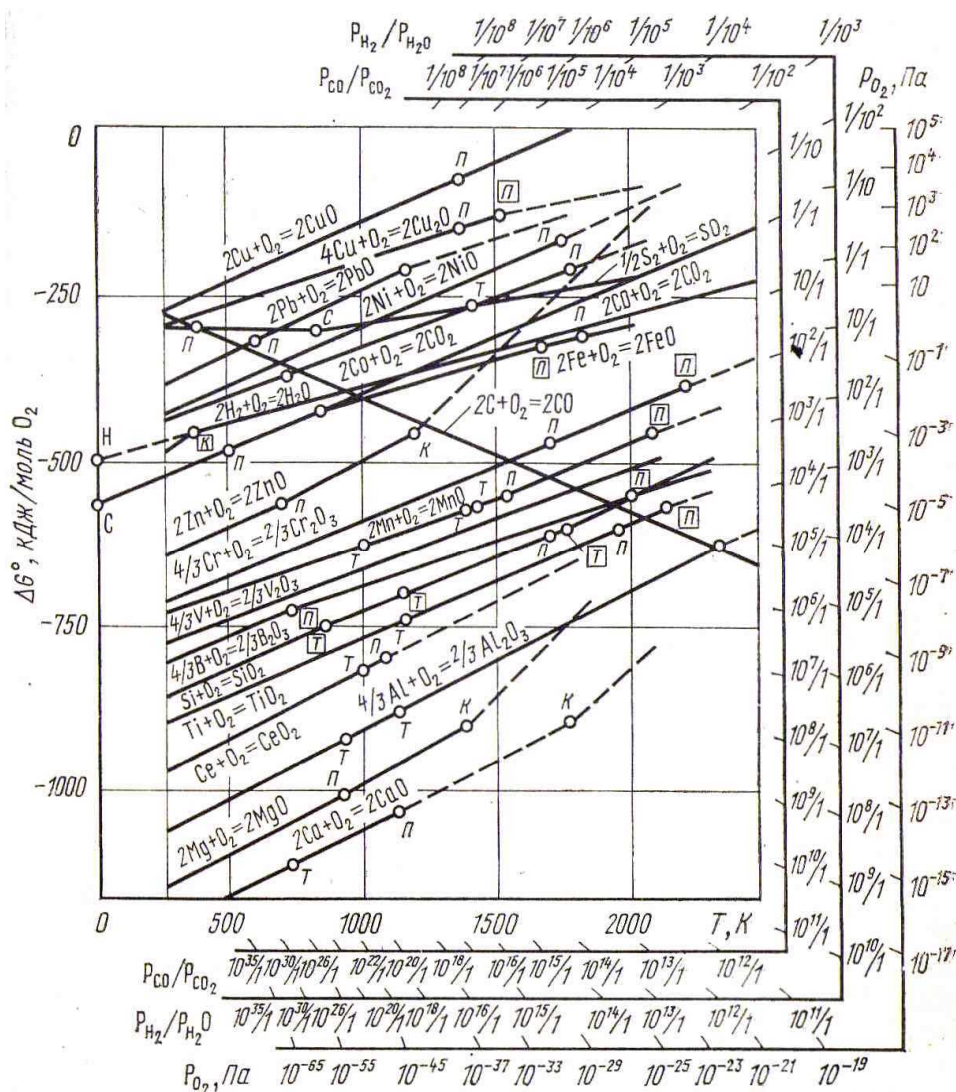
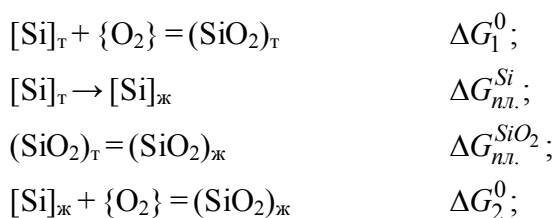


Рисунок 1 Зависимость стандартного изменения энергии Гиббса от температуры для реакций образования оксидов металлов

Температуры плавления и кипения Si и SiO<sub>2</sub> составляют  $T_{пл.}^{Si} = 1689$  К и  $T_{кип.}^{Si} = 2873$  К,  $T_{пл.}^{SiO_2} = 1986$  К и  $T_{кип.}^{SiO_2} = 3223$  К соответственно. Поэтому при температуре  $T_{н.в.} = 2083$  К кремний и SiO<sub>2</sub> находятся в жидком состоянии.

В работе [8] уравнение, связывающее  $\Delta G_{SiO_2}^0$  с температурой, дано только до температуры плавления кремния. Поэтому при расчёте величины  $\Delta G_{SiO_2}^0$  необходимо делать поправку на фазовые переходы, имеющие место в рассматриваемой системе:



$$\Delta G_2^0 = \Delta G_1^0 - \Delta G_{пл.}^{Si} - \Delta G_{пл.}^{SiO_2}.$$

Значение  $\Delta G_1^0$  в расчёте на 1 моль O<sub>2</sub> составит

$$\begin{aligned} \Delta G_1^0 &= (-906442 + 17564T) = \\ &= -906442 + 175,64T. \end{aligned}$$

Учитывая поправку на плавление Si и SiO<sub>2</sub>, получим

$$\begin{aligned} \Delta G_{пл.}^{Si} &= \Delta H_{пл.} - \frac{\Delta H_{пл.}}{T_{пл.}} T = \\ &= 50670 - \frac{50670}{1686} T = 50670 - 30,05T; \\ \Delta G_{пл.}^{SiO_2} &= \Delta H_{пл.} - \frac{\Delta H_{пл.}}{T_{пл.}} T = \\ &= 12980 - \frac{12980}{1986} T = 12980 - 6,54T. \end{aligned}$$

Тогда для реакции образования SiO<sub>2</sub> из жидкого кремния стандартное изменение энергии Гиббса составит

$$\begin{aligned} \Delta G_2^0 &= (-906442 + 175,64T) - \\ &- (50670 - 30,05T) - (12980 + \\ &+ (-6,54)T) = -970092 + 212,23T. \end{aligned}$$

Для образования CO по реакции  $2\langle C \rangle + \{O_2\} = 2\{CO\}$

$$\begin{aligned} \Delta G_{C/CO}^0 &= 2(-110560 - 89,875T) = \\ &= -221120 - 179,75T. \end{aligned}$$

Из полученных уравнений для температурной зависимости  $\Delta G_2^0$  и  $\Delta G_{C/CO}^0$  находим значение коэффициентов M и N:

$$\begin{aligned} M_1 &= -970092; & M_2 &= -221120; \\ N_1 &= 212,23; & N_2 &= -179,75. \end{aligned}$$

Подставляя эти значения в формулу для определения теоретической температуры начала восстановления кремния углеродом при давлении 0,1 МПа, получим

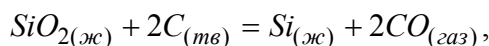
$$\begin{aligned} T_{н.в.}^0 &= \frac{M_2 - M_1}{N_1 - N_2} = \\ &= \frac{-221120 - (-970092)}{212,23 - (-179,75)} = 1911 \text{ К}, \end{aligned}$$

$$\text{или } t_{н.в.}^0 = 1638^\circ \text{C}.$$

Зависимость стандартного изменения энергии Гиббса от температуры для суммарной реакции восстановления кремния твёрдым углеродом будет иметь вид

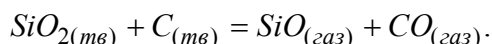
$$\Delta G_T^0 = 748972 - 391,98 \cdot T.$$

Однако восстановление кремнезёма твёрдым углеродом в условиях электрической печи протекает по суммарной реакции [7]



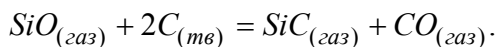
$$\Delta G_0 = 666664 - 365T \text{ Дж/моль } (t = 1554^\circ \text{C}).$$

Согласно исследованиям, восстановление кремнезёма происходит ступенчато. Вначале кремнезём восстанавливается до монооксида по реакции

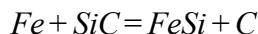


Моноокись кремния при высоких температурах является газообразным веществом и удаляется из зоны реакций вместе с газами. Встречая на своём пути куски кок-

са, моноокись кремния взаимодействует с ним с образованием карборунда:



Большое влияние на ход реакции восстановления кремния оказывает присутствие железа, которое, растворяя кремний, понижает его активность, улучшая термодинамические условия восстановления и сокращая потери кремния. Железо также значительно снижает температуру начала процесса восстановления (от 1530 °C для сплава с 90 % Si до 1225 °C для сплава с 10 % Si). Положительное влияние железа определяется и тем, что оно легко разрушает карбид кремния по реакции



и способствует сдвигу реакции восстановления в сторону образования сплава кремния. Эта реакция начинается от 1500 °C и интенсивно протекает в интервале 1500–1600 °C [7].

В процессе реализации технологии ДГВ РВБ погружается под уровень жидкого шлака и металлического расплава, которые оказывают влияние на давление внутри каверны, где и происходят реакции восстановления, а следовательно, и на температуру восстановления элементов.

В работе [6] было установлено, что для РВБ используемой в исследованиях конструкции при работе на постоянном токе плотностью 2,0 А/мм<sup>2</sup> и напряжении 50 В максимально возможное теоретическое заглубление их в расплав составляет 300 мм.

Поэтому оценку влияния давления в системе на температуру начала реакции восстановления кремния целесообразно производить для случая заглубления дугового разряда до 300 мм.

Расчётные значения теоретической температуры начала восстановления кремния с учётом заглубления РВБ под слой расплава, полученные с использованием методики, описанной в работе [6], представлены в таблице 1.

Анализируя данные таблицы 1, можно утверждать, что при погружении РВБ в металлический расплав на глубину до 50 мм теоретическая температура восстановления кремния практически не отличается от значений, рассчитанных для случая восстановления при давлении 0,1 МПа. При погружении РВБ на 100–300 мм значение исследованного параметра увеличивается всего на 5–15 °C.

На основании проведённого анализа параметров, влияющих на процесс восстановления кремния, а также выполненных расчётов можно предположить, что процесс ДГВ кремния необходимо вести в присутствии железа при температуре обработки 1500–1640 °C.

При проведении в лабораторных условиях первой опытной плавки для исследования ДГВ кремния из песка сжигали РВБ Ø50 мм. РВС состояла из песка (66,2 %) с содержанием SiO<sub>2</sub> (95,9–97,3 %), восстановителя в виде графита (26,5 %) и жидкого стекла для связки (7,3 %).

Таблица 1

Значения теоретической температуры начала восстановления кремния при различном заглублении РВБ

Заглубление РВБ, м	Давление в зоне каверны, МПа	$T_{н.в.}^P, K$	$t_{н.в.}^P, ^\circ C$	$\Delta t = t_{н.в.}^P - t_{н.в.}^0, ^\circ C$
0,05	0,105	1913	1640	2
0,10	0,108	1916	1643	5
0,15	0,111	1919	1646	8
0,20	0,115	1921	1648	10
0,25	0,118	1923	1650	12
0,30	0,122	1926	1653	15

Процесс внепечной обработки 30 кг чугуна проводили в индукционной сталеплавильной тигельной печи ёмкостью 60 кг (ИСТ–0,06) с использованием источника питания ТИР–630. Обработка расплава производилась при его начальной температуре 1487 °С в течение 8,83 мин при средней подводимой мощности 8,8 кВт, а затраты электроэнергии составили 2,078 кВт·ч. До и после обработки чугуна методом ДГВ отбирали пробы металла для их химического анализа. Проведённый химический анализ экспериментальных проб чугуна показал увеличение в нём содержания кремния на 0,15 % при степени его извлечения из песка около 22 %.

Для дальнейших исследований были изготовлены РВБ Ø55 мм и Ø50 мм, имеющие различный состав РВС (табл. 2). В составе РВС использовали песок ( $\text{SiO}_2 = 95,9 \%$ ),

кокс ( $\text{C} = 88 \%$ ) и связующие в виде жидкого стекла (ж.с.), каменноугольного пека (к.п.) и цемента (ц.). При использовании в составе РВС цемента добавляли ~9 % воды.

Общий вид РВБ с использованием различных связующих до и после их сжигания представлен на рисунках 2 и 3, а основные технологические параметры обработки — в таблице 3.

Таблица 2  
Основные параметры опытных РВБ

№ РВБ	Ø РВБ, мм	Вид связки	Состав РВС, %		
			песок	кокс	связка
1	55	ж.с.	65,5	27,5	7,00
2	50	ж.с.	65,5	27,5	7,00
3	55	ц.	45,01	22,02	23,84
4	55	к.п.	60,40	12,60	27,00

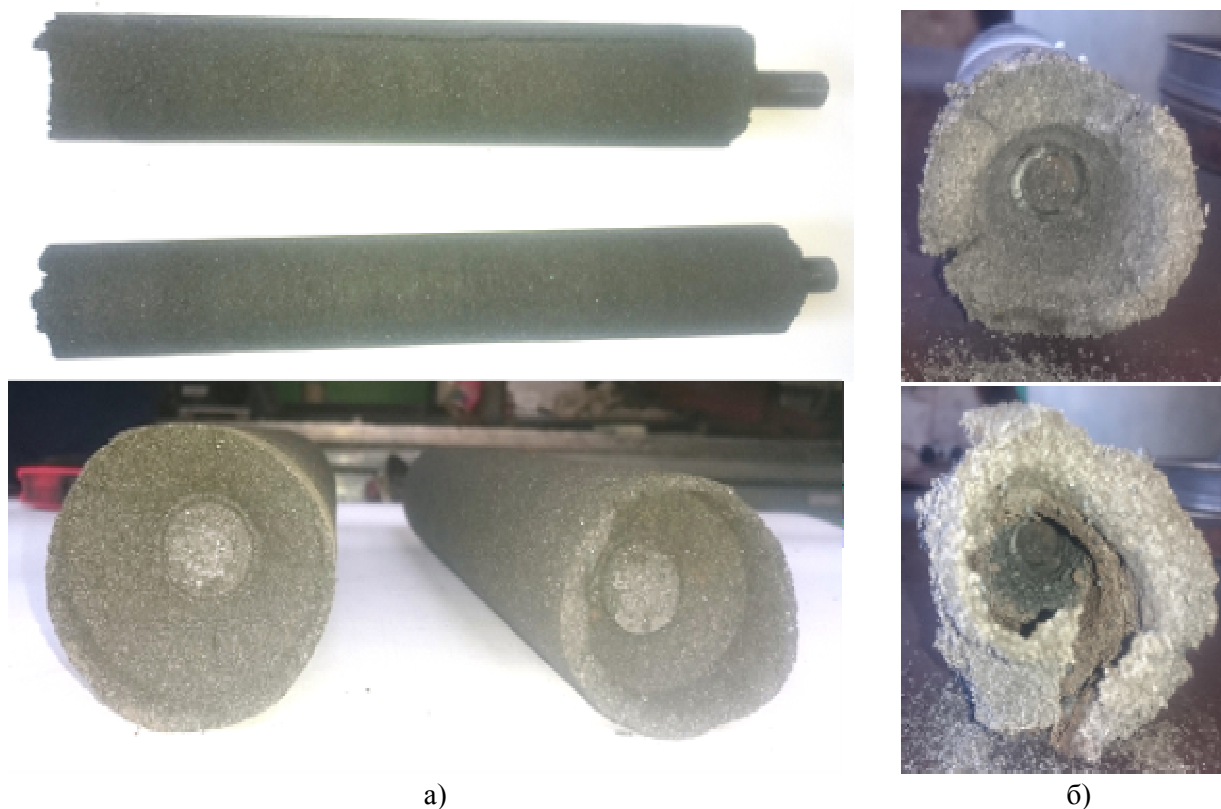


Рисунок 2 Общий вид РВБ с использованием жидкого стекла до (а) и после их сжигания (б)



## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

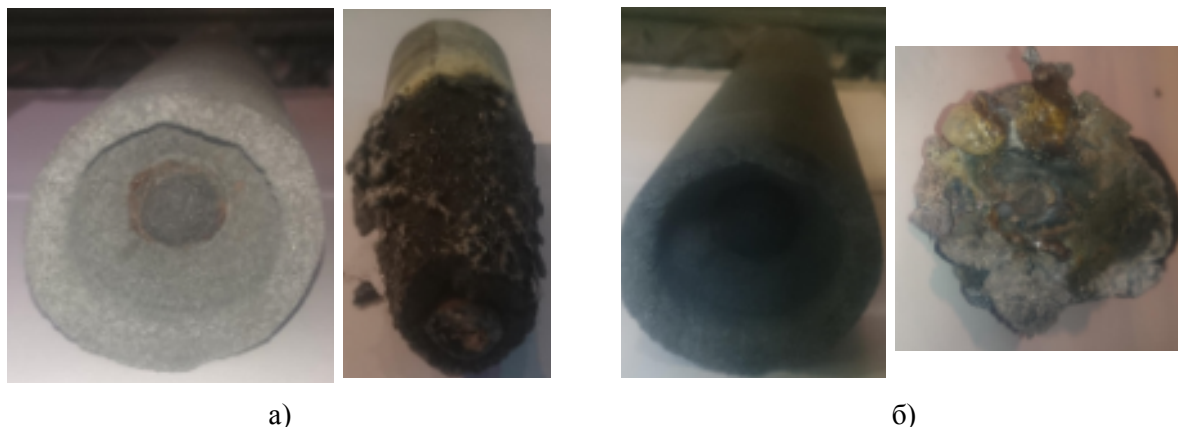


Рисунок 3 Общий вид РВБ с использованием цемента (а) и каменноугольного пека (б) до и после их сжигания

Таблица 3

Технологические параметры обработки металла методом ДГВ

№ РВБ	Масса металла, кг	Начальная температура металла, °С	Время обработки, мин	Подводимая мощность, кВт	Затраты электроэнергии, кВт·ч	Масса сгоревшей РВС, кг	Удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/кг	Прирост кремния в металле, %	Степень извлечения кремния, %
1	35,0	1530	4,02	14,8	0,710	0,314	2,261	0,100	34
2	34,8	1541	5,35	15,0	0,924	0,215	4,298	0,080	28
3	40,0	1501	1,72	15,9	0,594	0,720	0,825	0,022	6
4	39,9	1507	3,35	13,4	0,802	0,032	25,063	0,020	82

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о возможности извлекать кремний из песка методом ДГВ. При сжигании РВБ № 1, 2 получены близкие значения степени извлечения кремния, составившие 34 % и 28 % соответственно. Однако необходимо отметить, что при использовании РВБ Ø55 мм получена большая скорость насыщения расплава кремнием (0,025 %/мин против 0,015 %/мин для блока Ø50 мм), а расход электроэнергии почти в 2 раза меньше, несмотря на близкие значения мощности, подводимой на дугу в процессе реализации процесса ДГВ. Полученный результат свидетельствует о том, что при большем диаметре блоков подводимая энергия расходуется более эффективно, что обеспечивает меньший её удельный расход и повышение скорости насыщения расплава кремнием. При использовании РВБ Ø55 мм при одинаковой длине сгоревшей его части в процессе восстановления участвует на 25 % больший

объём РВС. Кроме того, ещё одним объяснением повышенного удельного расхода электроэнергии при сжигании РВБ 2 является на 25 % меньшая скорость охлаждения металла, а это, в свою очередь, свидетельствует о том, что часть подводимой мощности, необходимой для восстановления кремния, расходовалась на его нагрев.

Анализ огарка РВБ № 3 после сжигания показал, что процесс расходования составляющих его элементов происходил несинхронно (рис. 3а). Кроме того, было обнаружено отсутствие «каверны» в торцевой части блока. Отсутствие «каверны» не обеспечивало нормального процесса горения электрической дуги, которая часто прерывалась вследствие короткого замыкания. Поэтому РВС не получала достаточного количества тепла, необходимого для протекания реакций восстановления. Это подтверждается относительно низкими значениями удельных затрат электроэнер-



гии (0,825 кВт·ч/кг) и степени извлечения кремния (6 %). На основании полученных данных можно предположить, что РВС просто оплавлялась и стекала в шлаковую фазу, что послужило результатом малой степени извлечения кремния и небольшого увеличения его содержания в расплаве.

Полученная максимальная степень извлечения кремния из песка для РВБ № 4 объясняется тем, что в процессе обработки израсходовано очень малое количество РВС (0,032 кг), а удельные затраты электроэнергии на процесс составили ~25 кВт·ч/кг, что более чем в 5 раз превышает этот показатель в сравнении с другими РВБ. На наш взгляд, низкая эффективность извлечения кремния обусловлена излишней конструктивной прочностью РВС в результате добавления в её состав большого количества пека при формовке. Поэтому РВС расходовалась крайне медленно, что и вызвало повышение удельных затрат электроэнергии.

В результате проведённых экспериментов была установлена принципиальная возможность использования метода ДГВ для прямого раскисления-легирования железоуглеродистых расплавов кремнием, восстанавливаемым из песка. Однако опробованные конструкция и технологические параметры обработки не в полной мере обеспечивают выполнение основного требования к процессу ДГВ — синхронного расходования РВС и КЭ. Поэтому в ходе дальнейших исследований предполагается проанализировать влияние температурного и энергетического режима процесса ДГВ кремния из песка на эффективность внепечной обработки и оценить её себестоимость. При этом особое внимание необходимо уделить начальной температуре обрабатываемого расплава, конструкции РВБ и составу РВС.

### Библиографический список

1. Официальный сайт Всемирной организации стали [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.worldsteel.org>.
2. Проценко, М. Ю. Сравнение эффективности легирования металла ферросплавами и методом дугового глубинного восстановления [Текст] / М. Ю. Проценко, С. В. Куберский, В. С. Эссельбах // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2011. — Вып. № 35. — С. 211–220.
3. Электродуговая и электромагнитная обработка расплавов [Текст] : монография / А. Н. Смирнов и др. — Алчевск : ДонГТУ, 2013. — 320 с.
4. Куберский, С. В. Анализ параметров метода дугового глубинного восстановления при одновременной обработке расплава двумя рудно-восстановительными блоками [Текст] / С. В. Куберский // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. — Вып. № 7 (50). — С. 79–85.
5. Низяев, К. Г. Десульфурация чугуна в ковше магнием, восстановленным под уровнем жидкого металла в зоне электрической дуги [Текст] / К. Г. Низяев, Б. М. Бойченко, А. Н. Стоянов [и др.] // V Międzynarodowa Sesja Naukowa «Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej», Częstochowa. Seria Metalurgia. — 2004. — Część I. № 39. — Str. 49–52.
6. Проценко, М. Ю. Разработка ресурсосберегающей технологии дугового глубинного восстановления марганца из шлака силикомарганца в железоуглеродистые расплавы [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.16.02 / Проценко Михаил Юрьевич ; ДонГТУ. — Лисичанск, 2017. — 191 с.
7. Рысс, М. А. Производство ферросплавов [Текст] / М. А. Рысс. — М. : Металлургия, 1985. — 346 с.
8. Казачков, Е. А. Расчёты по теории металлургических процессов [Текст] : учеб. пособ. для вузов / Е. А. Казачков. — М. : Металлургия, 1988. — 288 с.

© Куберский С. В.  
 © Проценко М. Ю.  
 © Воронько М. И.  
 © Белан И. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В.,  
начальником ЦЛ филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» АМК Сбитневым С. А.*

*Статья поступила в редакцию 11.06.19.*

**к.т.н. Куберський С. В., к.т.н. Проценко М. Ю., Воронько М. І., Белан І. О. (ДонДТУ,  
м. Алчевськ, ЛНР)**

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ДУГОВОГО ГЛИБИННОГО ВІДНОВЛЕННЯ  
ДЛЯ ВИТЯГАННЯ КРЕМНІЮ З ПІСКУ В ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ РОЗПЛАВИ**

*Проаналізовано параметри, що впливають на витягання кремнію з кремнійвмісних матеріалів. Розраховано теоретичну температуру початку відновлення кремнію при різному тиску в зоні реакції і виконано лабораторне випробування методу дугового глибинного відновлення кремнію з піску. Встановлено принципову можливість використання методу дугового глибинного відновлення для прямого розкислення-легування залізовуглецевих розплавів кремнієм.*

**Ключові слова:** *позапічна обробка, дугове глибинне відновлення, кремній, комбінований електрод, рудно-відновлювальна суміш, пісок, цемент, кам'яновугільний пек, електрична дуга, розкислення-легування.*

**PhD in Engineering Kuberskiy S. V., PhD in Engineering Protsenko M. Yu., Voron'ko M. I.,  
Belan I. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**USING THE METHOD OF ARC DEPTH REDUCTION TO EXTRACT SILICON FROM  
SAND INTO IRON-CARBON MELTS**

*The parameters affecting the extraction of silicon from silicon-containing materials are analyzed. The theoretical temperature of starting of silicon reduction at different pressure in the reaction zone is calculated and laboratory testing of the method of arc depth silicon reduction from sand is performed. There has been determined the principal possibility of using the method of arc depth reduction for direct deoxidation-alloying of iron-carbon melts with silicon.*

**Key words:** *secondary steel-making, arc depth reduction, silicon, combination electrode, ore-reduction mixture, sand, cement, coal-tar pitch, electric arc, deoxidation-alloying.*

УДК 669.162.262

к.т.н. Русанов И. Ф.,  
к.т.н. Куберский С. В.,  
Лупанов Д. В.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, rusanova-2011@inbox.ru),

Кумпан В. Н.

(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» АМК, г. Алчевск, ЛНР)

## ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАТА У СТЕНОК СПЕКАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ В СЛОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА

*Экспериментально исследованы особенности спекания агломерата у стенок спекательных агрегатов при введении в шихту металлического железа (чугунной стружки). Установлено влияние количества вводимой стружки на температурные параметры процесса и качество агломерата.*

**Ключевые слова:** чугунная стружка, агломерат, температура спекания, термограммы, максимальная температура в слое, качество, прочность.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Во многих работах, в том числе и работах авторов [1, 2], отмечается, что в прибортовой зоне агломерационных машин условия протекания всех физико-химических и тепловых процессов далеки от оптимальных. В результате спечённый агломерат прибортовой зоны имеет низкое качество.

В связи с этим возникает проблема: изменить условия спекания агломерата в прибортовой зоне агломашины или же перейти на новую технологию, позволяющую в существующих условиях получить качественный агломерат. Для решения этой проблемы в работе [2] нами предложено в прибортовую зону вводить металлическое железо, например, мелкую чугунную стружку. При этом дополнительное тепло, выделяющееся при окислении металлического железа, позволит повысить температуру в прибортовом слое шихты и в результате получить качественный агломерат.

Вместе с тем для внедрения предложенной технологии необходимо установить влияние на процесс спекания агломерата количества вводимого в шихту металла. При этом необходимо оценить изменения в теплообмене процесса, а также опре-

делить максимальные температуры в слое по ходу спекания.

**Постановка задачи.** В работе поставлена следующая задача: на основании опытных данных оценить изменение тепловых условий спекания агломерата в пристеночной зоне агломерационной установки при введении в шихту этой зоны чугунной стружки. Установить влияние количества стружки на максимальную температуру в зоне спекания.

**Изложение материала и его результаты.** Опытные спекания агломерата проведены в агломерационной лаборатории кафедры металлургии чёрных металлов (МЧМ) Донбасского государственного технического университета (ДонГТУ).

Спекания проводились в металлической лабораторной чаше диаметром 150 мм и высотой 400 мм. Для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду чаша была теплоизолирована слоем асбеста и огнеупорной глины толщиной 10 мм.

Для измерения температур по высоте слоя шихты в чаше, начиная от колосниковой решётки, через 75 мм были сделаны отверстия диаметром 10 мм, в которые устанавливались платино-платинородиевые термопары в керамических наконечниках.

Термопары вводились в слой шихты таким образом, чтобы срез наконечника находился на заданном расстоянии от стенки чаши. Температуру фиксировали многоканальным электронным потенциометром.

Составленная шихта окомковывалась в конусном окомкователе, конструкция которого разработана сотрудниками кафедры МЧМ ДонГТУ. Отличительной особенностью окомкования шихты в этом барабане является рециркуляционный режим данного процесса. При этом поток мелкой шихты движется навстречу потоку из более крупной шихты, гранулы которой являются центрами окомкования. В результате качество получаемой окомкованной шихты повышается.

При проведении исследований с введением металлического железа (чугунной стружки) в прибортовую зону спекание шихты проводилось в узком кольце толщиной около 20 мм. При этом вначале в агломерационную чашу вставлялся тонкостенный полый цилиндр диаметром 110 мм. В образовавшееся пространство между цилиндром и стенкой чаши загружалась опытная шихта, а в цилиндр — концентрат.

Загрузка в центральную часть концентрата позволяла, во-первых, оценивать ход спекания агломерата только в пристеночной зоне аглоустановки, а во-вторых, после спекания отделить полученный спёк от концентрата и оценить качество полученного агломерата.

Опытная шихта состояла из концентрата, аглоруды, известняка, топлива и возврата. Расходы материалов на одно спекание и их химический состав приведены в таблице 1.

Соотношение между концентратом и рудой в железорудной части шихты было 80:20 % при основности шихты, равной 1,3. Доля возврата в шихте составляла 20 %, а содержание углерода — 4 %.

Всего было проведено 5 серий по пять спеканий. В первой серии спекали шихту без ввода в неё чугунной стружки (базовая шихта). В последующих сериях в шихту вводили стружку в количестве от 2,5 до 10 % (с шагом 2,5 %) от массы загруженной шихты.

Таблица 1  
Химический состав и расход материалов шихты

Материал	Расход, кг	Содержание, %		
		Fe <sub>общ</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>
Руда	0,70	61,43	0,47	6,50
Концентрат	2,82	65,10	0,20	1,60
Известняк	0,25	—	54,33	1,55
Топливо (зола)	0,23	12,00	3,30	52,80
Возврат	1,00	79,47	4,01	3,08
Всего	5,00	59,29	3,72	2,85

Чтобы исключить влияние колебаний ситового состава шихты и её химического состава на результаты спеканий, загрузку установки производили следующим образом.

Шихта в количестве, необходимом для 5-ти спеканий, окомковывалась в окомкователе одновременно. Окомкованная шихта рассеивалась на фракции < 5 мм, 5–10 мм, 10–15 мм и > 15 мм. Каждая из фракций делилась на 5 равных частей, из которых составлялась порция шихты для одного спекания. Для обеспечения равномерного распределения отдельных фракций в загруженном слое составление порции осуществлялось следующим образом. На лист плотной бумаги равномерно рассыпалась фракция, содержание которой в шихте было максимальным (фракция 5–10 мм). Затем на эту фракцию также равномерно укладывались следующие фракции в порядке убывания их содержания в шихте. В результате на листе образовывался равномерный по ситовому составу слой. Перед загрузкой в установку бумага с материалом сворачивалась в трубочку, и затем он равномерно загружался в установку.

Шихта загружалась в чашу слоем высотой 370 мм. Во время загрузки шихты в чашу по мере её наполнения в отверстия вставлялись чехлы для ввода термопар. После этого чаша ставилась на испытательный стенд и в чехлы устанавливались термопары, подключённые к потенциометру.

Зажигание шихты производилось газовой горелкой.

В первой серии экспериментов шихту спекали без ввода в неё чугунной стружки (базовая шихта). В последующих сериях в шихту вводили чугунную стружку в указанных выше количествах.

На рисунке 1 приведены термограммы изменения температуры в слое на исследовательских горизонтах при спекании исходной (базовой) шихты.

Спекание базовой шихты показало, что в слое температура на всех горизонтах на 200–250 °C ниже необходимой для спекания качественного агломерата. Как результат, выход годного агломерата крупностью более 10 мм составил менее 50 %.

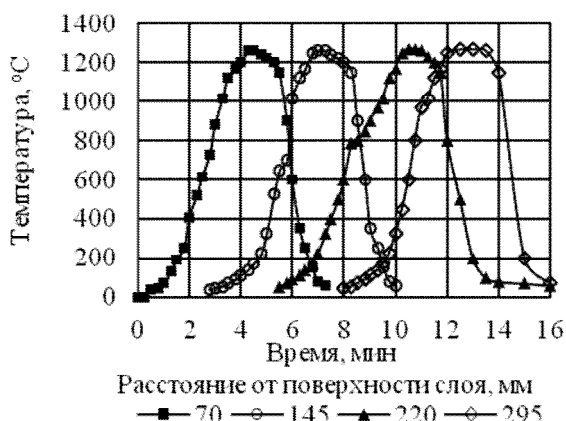
На рисунке 2 приведены изменения температуры по высоте слоя при спекании агломерата с вводом в шихту чугунной стружки.



Рисунок 1 Изменение температуры слоя на исследованных горизонтах в базовых спеканиях



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 Изменение температуры по высоте слоя при спекании агломерата с вводом в пристеночную зону чугунной стружки в количестве: а — 2,5 %, б — 5 %, в — 7,5 %, г — 10 %

Введение в шихту чугуновой стружки за счёт тепла, которое выделяется при окислении составляющих её элементов (Fe, C, Si, Mn), позволяет увеличить температуру в слое на величину, пропорциональную количеству введённой стружки. Повышение максимальной температуры в проведённых экспериментах в расчёте на 1 % введённой в шихту чугуновой стружки составило 40–50 °C.

Вместе с тем введение стружки приводит и к другим изменениям теплового режима процесса спекания.

Прежде всего, температура зажигания агломерационного топлива (около 800 °C) достигается в слое с небольшим запаздыванием по сравнению с базовым спеканием. Особенно это наблюдается на нижних горизонтах слоя. По-видимому, это вызвано тем, что в верхней ступени теплообмена на окисление металлического железа расходуется кислород воздуха, и в результате интенсивность горения топлива снижается.

Уравнение теплового баланса элементарного слоя в упрощённом виде при наличии в слое металлического железа имеет вид

$$Q_{вн} + Q_m + Q_{ок} = Q_{вс} + Q_{сл} + Q_{нс}, \quad (1)$$

где  $Q_{вн}$  — приход тепла от внешнего источника;  $Q_m$  — тепло, выделенное при сгорании топлива, содержащегося во всех вышележащих слоях;  $Q_{ок}$  — тепло от окисления металлического железа, содержащегося во всех вышележащих слоях;  $Q_{вс}$  — тепло, задержанное в верхней ступени теплообмена;  $Q_{сл}$  — тепло, усвоенное материалом данного слоя;  $Q_{нс}$  — тепло, переданное нижележащим слоям.

Так как  $Q_{сл} = m \cdot c \cdot t_{\max}$ , то значение максимальной температуры будет определяться зависимостью

$$t_{\max} = \frac{Q_{вн} + Q_m + Q_{ок} - Q_{вс} - Q_{нс}}{m \cdot c}. \quad (2)$$

Расчёт максимальной температуры по формуле (2) практически невозможен, так как при этом необходимо учесть нестационарность процессов, протекающих в трёх зонах во времени и по высоте слоя — зонах охлаждения агломерата, горения и нагрева шихты. Вместе с тем это уравнение позволяет провести качественную оценку влияния ввода в шихту металлического железа на максимальную температуру в слое.

Учитывая, что теплота внешнего нагрева (зажигания) расходуется в поверхностном слое, толщина которого равна примерно 50–60 мм, уже на первом исследовательском горизонте (70 мм) тепловой уровень процесса будет определяться главным образом величинами  $Q_m$  и  $Q_{ок}$ , то есть двумя источниками тепла.

Как известно, при агломерации с просасыванием воздуха наблюдаются фронтальные перемещения тепловой волны (фронт теплопередачи) и зоны горения топлива (фронт пламени). Считается, что для нормального протекания процесса спекания фронт пламени должен следовать непосредственно за фронтом теплопередачи.

Введённое в шихту металлическое железо, как показано в работе [3], окисляется дважды. Первоначально оно окисляется в зоне интенсивного подогрева шихты до  $Fe_3O_4$ , а затем, после восстановления в зоне горения до FeO, повторно окисляется в зоне охлаждения агглюспёка и подогрева воздуха до  $Fe_3O_4$  и  $Fe_2O_3$ .

Очевидно, что если за время, прошедшее от начала спекания до достижения максимальной температуры на данном горизонте, металлическое железо в верхних слоях окислится полностью, значение  $Q_{ок}$  будет максимальным. Следовательно, на данном горизонте значение температуры достигнет максимально возможных значений. Такое возможно, когда фронтальные перемещения тепловой волны (сюда входит и тепло от окисления металлического железа) и зоны горения топлива одинаковы.

В действительности фронт пламени опережает фронт теплопередачи. В результате элементарный слой получает меньше тепла, чем он получил бы при полном окислении железа. К тому же, как

сказано выше, соотношение скоростей перемещения тепловых волн от горения топлива и окисления железа определяет максимальную температуру слоя на горизонте.

В соответствии с принципом суперпозиции (наложения) тепловых волн итоговая температура определяется как сумма температур тепловых волн.

На рисунке 3 показано движение тепловых волн от двух тепловых источников.

Как видно из рисунка, первый максимум температуры от первого более мощного источника наблюдается при 30 с, а второй — при 90 с.

Из-за несовпадения скоростей первой и второй волн максимальная температура в первом случае достигнута на 5 с раньше, а во втором — на 5 с позже.

Показанные графики иллюстрируют принцип суперпозиции волн и хорошо объясняют распределение температур по высоте слоя, представленное на рисунке 2.

При увеличении количества металлического железа (стружки) в слое ход тепловой волны изменяется. Во-первых, повышается температура, во-вторых, волна расширяется. При этом соотношение между  $Q_T$  и  $Q_{ок}$  изменяется, что приводит не только к росту максимальной температуры, но и к смещению её максимума во времени.

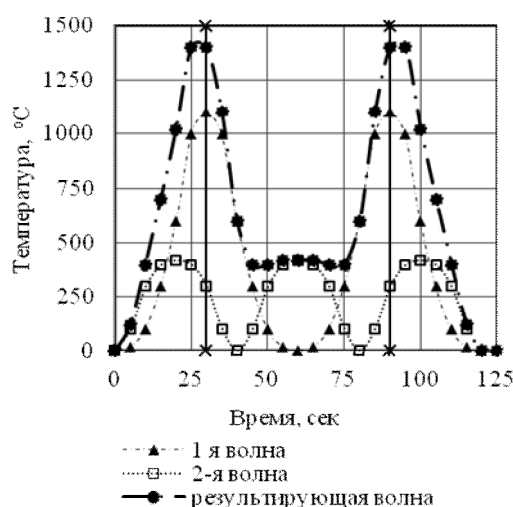


Рисунок 3 Движение тепловых волн от двух тепловых источников

В таблице 2 приведены данные о времени достижения максимальной температуры ( $\tau_{tmax}$ ) на горизонтах снятия термограмм.

Анализ этих данных показывает, что на всех горизонтах максимальная температура при увеличении количества введенной в шихту стружки достигалась с разницей 0,4–0,6 мин в расчёте на 1 % роста расхода стружки в шихту.

Учитывая принцип суперпозиции тепловых волн, описанный выше, можно утверждать, что при вводе в шихту металлического железа температурный максимум не всегда совпадает с максимумом, получаемым от горения топлива. Известное определение скорости спекания как скорости перемещения тепловой волны от горения топлива в случае спекания шихты, в состав которой входит металлическое железо, является не совсем корректным.

Как показали результаты обработки термограмм, помимо описанных выше изменений теплового режима, ввод в слой металлического железа приводит к увеличению времени пребывания материалов в зоне высоких температур. Это увеличение связано с тем, что процесс окисления железа при агломерации растянут во времени и проходит в два этапа, описанных выше. В верхней ступени теплообмена с увеличением количества стружки в шихте рост температур начинается раньше, чем в слое из обычной шихты.

Время пребывания материалов в зоне высоких температур ( $\tau_{tmax}$ ) с увеличением количества вводимого в шихту металла увеличивается (табл. 3).

Таблица 2

Влияние содержания стружки на время достижения слоем максимальной температуры

Горизонт, мм	$\tau_{tmax}$ (мин) при различном содержании стружки в шихте (%)				
	0	2,5	5,0	7,5	10
70	2,2	2,5	4,3	5,0	5,8
145	4,8	5,8	7,3	8,5	10,0
220	7,8	8,8	10,5	11,5	14,0
295	10,2	10,7	12,5	14,0	16,0

Таблица 3  
Влияние содержания стружки на время пребывания материалов в зоне высоких температур

Горизонт, мм	$\tau_{\max t}$ (мин) при различном содержании стружки в шихте (%)				
	0	2,5	5,0	7,5	10
70	1,5	1,4	2,8	3,3	3,7
145	1,0	2,0	2,5	3,0	4,2
220	1,0	2,0	3,0	3,8	4,0
295	1,0	2,3	3,0	4,0	4,0

Приведённые выше изменения теплового уровня процесса спекания шихты при введении в её состав чугуновой стружки положительно сказались на технико-экономических показателях процесса агломерации. Прежде всего, это касается выхода годного агломерата, который при введении в шихту стружки в количестве 2,5 % возрос почти на 20 %. При последующем увеличении содержания стружки в шихте на 1 % выход годного агломерата увеличивался практически на аналогичную величину.

Кроме того, полученный агломерат имел повышенную прочность. Этому способствовало увеличение времени пребывания агломерата при высоких температурах. Спёк медленнее охлаждался, что приводило к завершению всех процессов кристаллизации расплава. В результате агломерат имел металлический блеск, его куски были хорошо оплавлены и имели повышенную пористость.

### Библиографический список

1. Русанов, И. Ф. Оценка условий спекания агломерата у бортов спекательных тележек [Текст] / И. Ф. Русанов, С. В. Куберский, Д. В. Лупанов // Сборник науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — № 13 (56). — С. 49–54.
2. Петрушов, С. Н. Спекание агломерата с вводом в прибортовой слой чугуновой стружки [Текст] / С. Н. Петрушов, И. Ф. Русанов, С. В. Куберский, Д. В. Лупанов // Сборник науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2011. — Вып. 34. — С. 99–105.

Вместе с тем при введении в шихту пристеночной области металлического железа следует обратить внимание на тот факт, что время спекания агломерата увеличивается пропорционально количеству введённого металла. Поэтому количество вводимого металла должно быть таким, чтобы скорость спекания в пристеночной зоне и в остальной части спекательной машины совпадали.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** При вводе в агломерационную шихту, располагающуюся у стен агломерационного агрегата, чугуновой стружки условия спекания агломерата существенно изменяются, что обусловлено повышением температуры слоя и увеличением времени пребывания материалов в зоне высоких температур.

В результате изменений условий спекания шихты увеличивается выход годного агломерата из пристеночной зоны и повышается его прочность. Причём увеличение выхода годного агломерата непропорционально содержанию металлического железа в шихте.

Время спекания агломерата при введении металлического железа увеличивается, что необходимо учитывать при использовании его для улучшения условий спекания агломерата в прибортовой зоне спекательных тележек агломерационных машин.

В ходе дальнейших исследований предполагается проведение опытных спеканий в условиях действующего производства для подтверждения результатов, полученных в лабораторных условиях.

© Русанов И. Ф.  
© Куберский С. В.  
© Лупанов Д. В.  
© Кумпан В. Н.



*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В.,  
начальником ЦЛ филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» АМК Сбитневым С. А.*

*Статья поступила в редакцию 05.06.19.*

**к.т.н. Русанов І. Ф., к.т.н. Куберський С. В., Лупанов Д. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР),  
Кумпан В. М. (Філія № 12 ЗАТ «ВНЕШТОРГСЕРВИС» АМК, м. Алчевськ, ЛНР)**

**ОСОБЛИВОСТІ СПІКАННЯ АГЛОМЕРАТУ БІЛЯ СТІНОК СПІКАЛЬНИХ АГРЕГАТИВ  
ПРИ ВВЕДЕННІ В ШАР МЕТАЛЕВОГО ЗАЛІЗА**

*Експериментально досліджено особливості спікання агломерату біля стінок спікальних агрегатів при введенні в шихту металевго заліза (чавунної стружки). Встановлено вплив кількості стружки, що вводиться, на температурні параметри процесу і якість агломерату.*

**Ключові слова:** чавунна стружка, агломерат, температура спікання, термограми, максимальна температура шару, якість, міцність.

**PhD in Engineering Rusanov I. F., PhD in Engineering Kuberskiy S. V., Lupanov D. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR), Kumpan V. N. (Branch № 12 ZAO «VNESHTORGSERVIS» AISW (Closed Joint-Stock Company), Alchevsk, LPR)**

**FEATURES OF SINTERING AT THE WALLS OF SINTERING UNITS WHILE  
INTRODUCING INTO THE LAYER OF METALLIC IRON**

*Experimentally investigated the characteristics of sintering at the walls of sintering units while introducing into the burden the metallic iron (cast-iron shavings). There has been determined the influence of the amount of introduced shavings on the temperature process parameters and the quality of the sinter.*

**Key words:** cast-iron shavings, sinter, sintering temperature, thermograms, maximum temperature in the layer, quality, strength.

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
И АРХИТЕКТУРА**

---

---

**БУДІВНИЦТВО  
І АРХІТЕКТУРА**

---

---

**CIVIL ENGINEERING  
AND ARCHITECTURE**



УДК 001.623.459.6+624(075.8)

д.т.н. Дрозд Г. Я.,

к.т.н. Хвортова М. Ю.

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

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ

*В статье приведены сведения об уникальных объектах обеспечения жизнедеятельности населения Донбасса и гидротехнических сооружениях, находящихся в зоне военного конфликта под воздействием обычных средств поражения. Приведены примеры повреждения (разрушения) ряда объектов с методикой оценки их степени, расчёта стоимости и времени восстановления при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения.*

**Ключевые слова:** водопроводно-канализационное хозяйство, оценка технического состояния здания, устойчивость функционирования объекта, обычные средства поражения.

**Введение.** Коммунальное предприятие «Компания „Вода Донбасса“» — крупнейшее предприятие сферы жилищно-коммунального хозяйства Украины. Основная задача компании состоит в обеспечении бесперебойного водоснабжения населённых пунктов и предприятий Донецкой области в условиях маловодного региона. Это возможно благодаря уникальному комплексу гидротехнических и водопроводных сооружений, аналогов которым в мире не существует. Как единственный поставщик воды в регионе, предприятие имеет стратегическое значение, органом управления является Донецкий областной совет. Предприятие обеспечивает транспортировку воды на расстояние 260 км от реки Северский Донец по каналу «Северский Донец – Донбасс» и далее по Южно-Донбасскому водоводу до Мариуполя. При этом происходит подъём воды на высоту более 250 м, что обеспечивается насосными станциями 7-ми подъёмов. Общая длина канала составляет 132 км, в т.ч. открытая часть — 102,7 км; закрытая — 8 км; остальные участки канала пройдены трубами. Общая длина труб в системе канала (вследствие параллельности водоводов) равна 135,6 км. Основная доля приходится на стальные трубы — 117,9 км; остальные — железобетонные — 17,7 км (рис. 1).

Ежесуточно потребителям подаётся 1,5 млн куб. м питьевой и 0,4 млн куб. м

технической воды. Компания «Вода Донбасса» обеспечивает услугами водоснабжения и водоотведения 196 населённых пунктов Донецкой области с численностью населения более 2 млн человек и ряд крупнейших промышленных предприятий [1].

В настоящее время 4 производственных управления компании расположены в зоне боевых действий. На их балансе находится ряд объектов жизнеобеспечения населения, которые подвергаются повреждениям и разрушению (табл. 1, рис. 2).

В зоне разграничения длиной 60–70 км практически ежедневно, несмотря на всевозможные перемирия, происходят вооружённые провокации, приводящие к повреждению объектов инженерной инфраструктуры. Динамика обстрелов и, соответственно, повреждений объектов различной тяжести на протяжении 3-х лет проиллюстрирована рисунком 3.

**Актуальность проблемы.** Все объекты компании «Вода Донбасса» являются технически сложными, уникальными и рассчитаны на работу в нормальных мирных условиях. При военных действиях они подвержены воздействию боеприпасов за счёт их кинетической энергии, взрывной волны в толще сооружений или грунта (волна сжатия), воздушной волны и токсичного (иногда и огневого) воздействия продуктов взрыва. Учитывая, что от функционирова-

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ния таких объектов зависит жизнедеятельность десятков и сотен тысяч людей, своевременное и оперативное реагирование на любую потерю функциональной устойчивости объекта (ремонт, восстановление, запуск), характеризующееся материально-

техническими ресурсами, стоимостью и сроками, является первоочередной задачей. Методологии оценки степени повреждения объекта, определения стоимости и сроков его восстановления в экстремальных условиях являются актуальными.

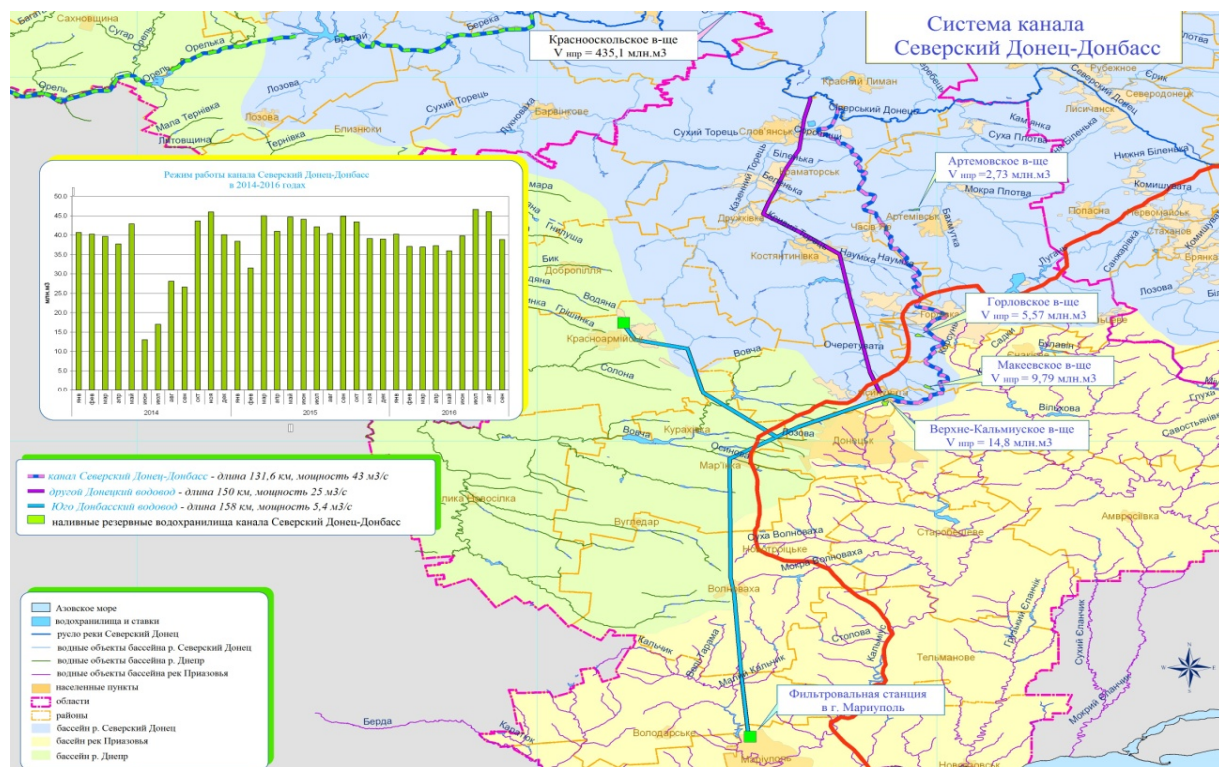


Рисунок 1 Карта системы «Северский Донец – Донбасс»

Таблица 1

## Некоторые основные фонды ПУВКХ

ПУВКХ	Объекты ПУВКХ	
	Водоснабжение	Канализация
Донецкое	6 насосных станций, 1 фильтровальная станция, 4462 км водопроводной сети	16 канализационных насосных станций (КНС), 1344 км коллекторов + 125 км напорных
Макеевское	7 насосных станций, 2 фильтровальные станции, 1524 км водопроводной сети	19 канализационных насосных станций (КНС), 579 км коллекторов + 57 км напорных
Горловское	8 насосных станций, 2 фильтровальные станции, 1343 км водопроводной сети	6 канализационных станций (КНС), 527 км коллекторов + 20 км напорных
Енакиевское	4 насосных станций, 2 фильтровальные станции, 514 км водопроводной сети	6 канализационных станций (КНС), 181 км коллекторов + 20 км напорных

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

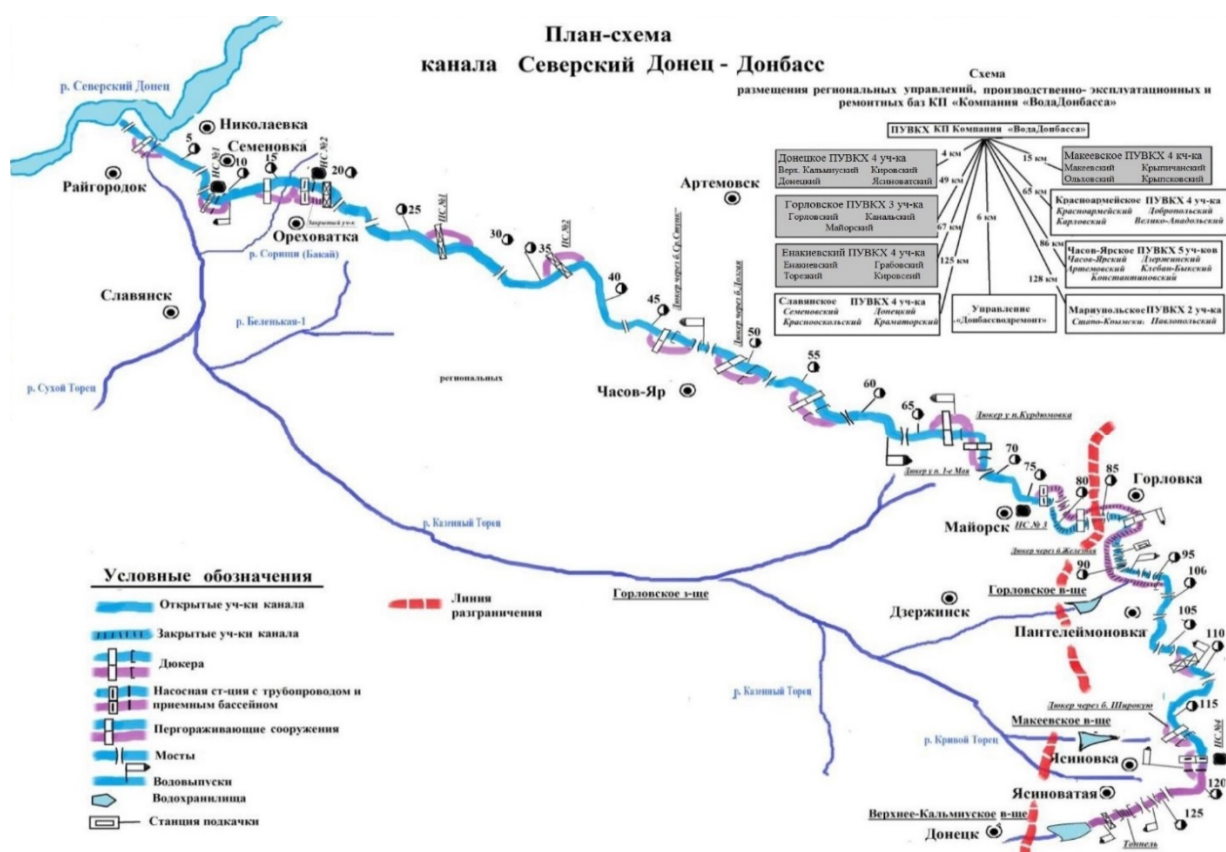


Рисунок 2 План-схема канала «Северский Донец – Донбасс» с линией военного разграничения

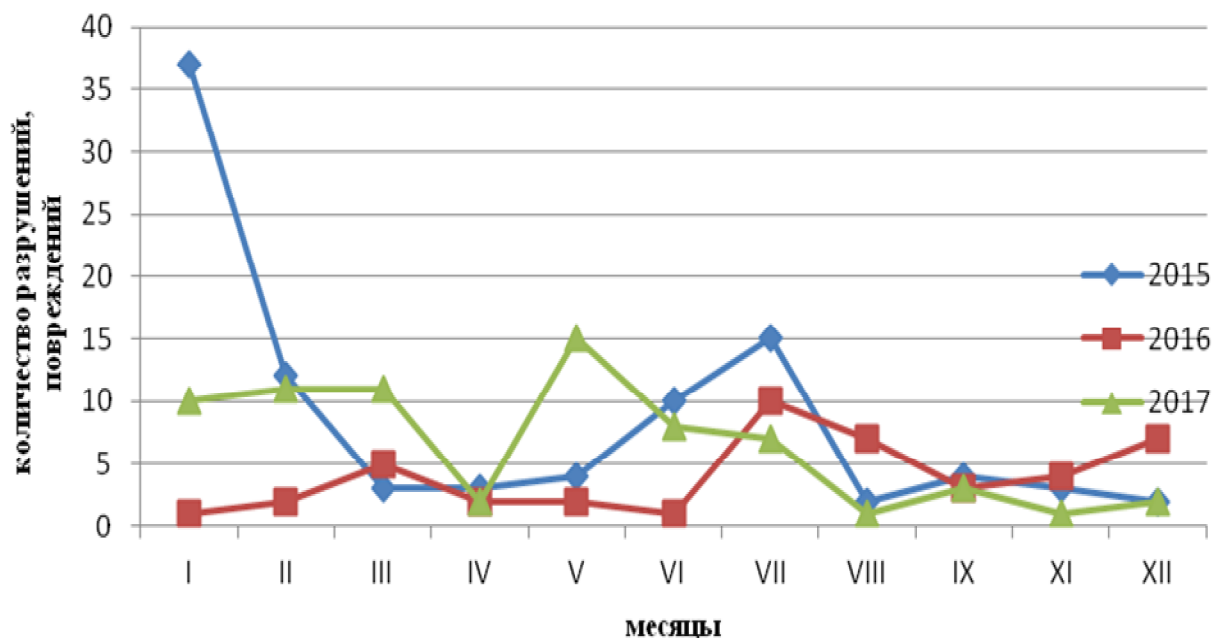


Рисунок 3 Динамика обстрелов зоны канала (территории обслуживания компании «Вода Донбасса»)

**Цель работы** — выполнить оценку степени повреждения, стоимости и сроков восстановления коммунального объекта, находящегося в зоне боевых действий, с использованием рекомендованных нормативных методик расчёта.

**Методика исследования.** Выполнен анализ и обобщение данных компании «Вода Донбасса», собрана информация о повреждённых объектах, осуществлён выезд на отдельные объекты и произведён их осмотр. Алгоритм оценочных расчётов проведён в соответствии с [2].

**Результаты и их обсуждение.** Исходя из отчётов диспетчерских служб, обстрелы (рис. 3) производились преимущественно из миномётов калибра 82 и 120 мм, количество взрывчатого вещества в минах этого типа (рис. 4) составляет 0,4 и 2,5–3,0 кг соответственно.

Журнал «Военное дело» так характеризует поражающее действие взрывной волны этих боеприпасов: «Для полного разрушения армированного остекления зданий и домов потребуется 5–10 кПа, для деревянных строений — 10–20 кПа, для кирпичных зданий — 25–30 кПа, а для же-

лезобетонных конструкций стен какого-нибудь типичного цеха, сооружённого во времена СССР, — 100–150 кПа».

Лёгкие поражения человека наступают при избыточном давлении 20–40 кПа. Поражения средней тяжести возникают у человека и животных при избыточном давлении 40–60 кПа. Тяжёлые контузии и травмы возникают уже при избыточном давлении 60–100 кПа. Крайне тяжёлые контузии с летальным исходом или серьёзные травмы у людей возникают при избыточном давлении свыше 100 кПа. Радиус поражения обломками зданий и сооружений, особенно осколками стёкол, разрушающихся при избыточном давлении 2–7 кПа, может значительно превышать радиус непосредственного прямого поражения ударной волной.

*1. Оценка степени разрушений строительных объектов.* ГОСТ Р42.2.01–2014 даёт следующие значения избыточного давления во фронте ударной волны (табл. 2). По таблице 3 определяется степень разрушения объекта, по таблице 4 — разрушения составных частей объекта, характеризующие степени их разрушения.



Рисунок 4 Мины калибра 82 и 120 мм

Таблица 2

Значения избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (кПа) на различных расстояниях от центра взрыва для боеприпаса (м)

Расстояние от центра взрыва боеприпаса, м	Значение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны, кПа
10	1400
20	250
30	110
40	60
50	40
60	30

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА***Продолжение таблицы 2*

Расстояние от центра взрыва боеприпаса, м	Значение избыточного давления во фронте воздушной ударной волны, кПа
70	23
80	20
90	16
100	14
110	12
120	10
130	9,5
140	9
150	8,5
200	5,5
250	4,5
300	3,5
350	3
400	2,5
500	2
700	1,5
1000	1

*Таблица 3*

Степени разрушения составных частей объекта при различных значениях избыточного давления во фронте воздушной ударной волны взрыва боеприпаса, кПа

Наименование составных частей объекта	Степени разрушения составных частей объекта при различных значениях избыточного давления, кПа		
	слабая	средняя	сильная
1	2	3	4
<b>Здания</b>			
Промышленное с металлическим или железобетонным каркасом	32–65	65–80	80–95
Многоэтажное административное с металлическим или железобетонным каркасом	32–48	48–65	65–80
Кирпичное многоэтажное (3 этажа и более)	12–20	20–32	32–48
Кирпичное одно- и двухэтажное	12–24	24–40	40–56
Деревянное	9–12	12–20	20–32
Остекление промышленного и жилого здания	1–2	2–4	4–5
Остекление из армированного стекла	1,5–3	3–5	5–10
Промышленное с металлическим каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью 25–50 т	32–48	48–65	65–80
<b>Мосты, дороги</b>			
Мост металлический, конструкции с пролётом 30–45 м	160–240	240–320	320–400
Мост железобетонный с пролетом 25 м	80–160	160–240	240–320
Мост деревянный	32–80	80–130	160
Шоссейная дорога с асфальтовым и бетонным покрытием	480	1600	4800
Железобетонное полотно	160–240	240–480	480
Взлётно-посадочная полоса аэродрома	640	2400	4800



**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
<b>Транспорт</b>			
Тепловоз, электровоз	80–110	110–160	16–240
Железнодорожный вагон и цистерна	32–65	65–95	95–145
Самолёт транспортный	14–16	16–25	25–40
Гусеничный тягач и трактор	48–65	65–95	95
Грузовая автомашина и автоцистерна	32–65	65–80	80
Транспортное судно	48–95	95–30	130–160
<b>Защитные сооружения</b>			
<i>Убежище отдельно стоящее, рассчитанное на:</i>			
350 кПа (3,5 кгс/см)	640–960	960–1200	1200
100 кПа (1 кгс/см)	160–240	240–320	320
<i>Убежище встроенное, рассчитанное на:</i>			
100 кПа (1 кгс/см)	110–160	160–240	240
50 кПа (0,5 кгс/см)	48–65	65–160	160
Подвал (без усиления несущих конструкций)	32–48	48–160	160
Деревоземляное противорадиационное укрытие, рассчитанное на 30 кПа (0,3 кгс/см)	48–80	80–130	130
<b>Оборудование</b>			
Станочное оборудование	40–64	64–95	95–110
Крановое оборудование	32–48	48–80	80–110
Токарно-карусельный, токарно-расточной станки	16–48	48–80	80–110
<b>Линии электропередач</b>			
Воздушные высоковольтные	40–48	48–80	80–110
Воздушные низковольтные	32–95	95–160	160–260
Кабель подземный	320–480	480–960	960–1600
Кабель надземный	16–48	48–80	80–95
Антенные устройства	16–32	32–65	65
<b>Линии связи</b>			
Стационарные воздушные	32–80	80–110	130–190
Шестовые воздушные	32–48	48–160	160
<b>Трубопроводы</b>			
Наземные	32	80	210
Подземные стальные (диаметр более 350 мм)	320–560	560–960	960–1600
Подземные стальные (диаметр менее 350 мм)	960–1600	1600–2400	2400–3200
Подземные чугунные трубопроводы на раструбах, асбоцементные на муфтах, керамические на раструбах	320–960	960–1600	1600–3200
Подземные водо-, газо-, канализационные сети	160–320	640–1600	1600–2400
Трубопроводы на эстакаде	32–48	48–65	65–80
Смотровые колодцы и задвижки	320–640	640–960	960–1600
<b>Резервуары</b>			
Наземные для ГСМ (пустые)	24–32	32–48	48–65
Наземные для ГСМ (заполненные)	–	110	–
Частично заглублённые (пустые)	64–80	80–130	130–160
Подземные	32–80	80–160	160–320
Газгольдеры	24–32	32–48	48–65

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
<b>Сооружения</b>			
Тепловая электростанция	16–24	24–32	32–40
Здание фидерных и трансформаторных подстанций из кирпича или блоков	16–32	32–65	65–95
Галереи энергетических коммуникаций на металлических (железобетонных) эстакадах	16–25	25–32	32–40
Водонапорная башня	16–32	32–65	65–95
Вышка металлическая	32–48	48–80	80–110
Открытые склады с железобетонным перекрытием	32–55	55–110	130–160

Таблица 4

Повреждения (разрушения) составных частей объекта,  
характеризующие степени их разрушения

Степени разрушения			
слабая	средняя	сильная	полная
Разрушение внутренних перегородок, кровли, дверных и оконных коробок, лёгких пристроек и др.; основные несущие конструкции сохраняются.	Снижение эксплуатационной пригодности зданий и сооружений; несущие конструкции сохраняются и лишь частично деформируются, при этом снижается их несущая способность; опасность обрушения отсутствует	Сплошное разрушение несущих конструкций зданий и сооружений; могут сохраняться наиболее прочные элементы здания и сооружения: элементы каркасов, ядра жёсткости, частично стены и перекрытия нижних этажей. При сильном разрушении образуется завал.	Обрушение зданий и сооружений, от которых могут сохраниться только повреждённые (или неповреждённые) подвалы, а также незначительная часть прочных элементов. При полном разрушении образуется завал.

По наблюдениям и представленной информации не менее 70 % объектов ПУВКХ вдоль линии разграничения имеют повреждения (рис. 5, 6).

При этом степень разрушения объектов в соответствии с таблицами 3, 4 колеблется от слабой до полной.

2. Оценка степени разрушения объекта после факта воздействия поражающих факторов обычных средств поражения на примере насосной станции I-го подъёма (рис. 7).

Степень повреждения конструктивных элементов составной части объекта после факта воздействия поражающих факторов обычных средств поражения определяется в совокупности двух факторов:

а) наличие повреждений и частичных разрушений конструктивных элементов;

б) наличие физического износа сохранившихся конструктивных элементов.

Степень повреждения  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й составной части объекта ( $P_i$ ) определяется по формуле (1) или по таблице 5:

$$P_i = P_q + (100 - P_q) \times \frac{I_3}{100\%}, \quad (1)$$

где  $P_q$  — часть повреждённого и частично разрушенного конструктивного элемента, в процентах;  $I_3$  — процент физического износа сохранившейся части конструктивного элемента.



Рисунок 5 Повреждения объектов:

а) моста через канал; б) наземной трубопроводной части канала; в) русла канала без воды; г) дюкера; д) КНС в Горловке; е) здания реагентного хозяйства ДФС; ж) эстакады резервного хлоропровода в Авдеевке; и) здания хлораторной ДФС





Рисунок 6 Повреждения:

а) закрытой ж/б части канала; б) Васильевской насосной станции; в, г) трубопроводных сетей; д) трансформаторной подстанции; е) Занковская насосная станция; ж) проходная очистных сооружений; и) сгоревший служебный аварийный автомобиль



Рисунок 7 Здание насосной станции I-го подъёма Южнодонбасского водопровода после обстрелов

Таблица 5

Степень повреждения  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й составной части объекта

Процент физического износа имеющихся частей конструктивного элемента	Часть повреждённого и частично разрушенного конструктивного элемента (в процентах)															
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
0	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
10	10	15	19	24	28	33	37	42	46	51	55	60	64	69	73	
20	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	
30	30	34	37	41	44	48	51	55	58	62	65	69	72	76	79	
40	40	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	
50	50	53	55	58	60	63	65	68	70	73	75	78	80	83	85	
60	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	
70	70	72	73	75	76	78	79	81	82	84	85	87	88	90	91	
75	75	76	78	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	

Физический износ инженерного оборудования рекомендуется осуществлять по [3], зданий — по [4, 5]. При обследовании насосной станции, повреждённой в результате воздействия поражающих факторов обычных средств поражения, уста-

новлено 20%-ное повреждение стен и определён физический износ оставшейся части стен, равный 40 %. Следовательно, степень повреждения такого конструктивного элемента в целом, составит 52 %.

Степень повреждения  $j$ -й составной части объекта ( $\Pi_j$ ) определяется по формуле

$$\Pi_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\Pi_i \times B_i)}{\sum_{i=1}^n B_i}, \quad (2)$$

где  $\Pi_i$  — степень повреждения  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й составной части объекта;  $B_i$  — удельный вес  $i$ -го конструктивного элемента  $j$ -й составной части объекта, определяемый по [5].

Степень повреждения конструктивных элементов  $j$ -й составной части объекта и степень повреждения  $j$ -й составной части объекта в целом устанавливается путём заполнения специальной формы (табл. 6), в которой указывается: наименование конструктивного элемента, его описание, доля износа, процент разрушения, степень повреждения при внешнем воздействии, удельный вес [2], рассчитанная степень повреждения.

Форма заполнения для определения степени повреждения многопролётного здания приведена в таблице 6. Примечание:  $\Pi_j = \text{Сумма графы 7. Сумма графы} \times 100 \% = 58,0/100 \times 100 = 58 \%$ . Степень разрушения объекта в целом ( $\Pi$ ) определяется исходя из степеней повреждения  $j$ -ых составных элементов объекта:

$$\Pi = \sum_{j=1}^n \Pi_j \times k_j, \quad (3)$$

где  $\Pi_j$  — степень повреждения  $j$ -й составной части объекта, %;  $n$  — количество составных частей объекта;  $k_j$  — коэффициент удельной стоимости  $j$ -й составной части объекта, который определяется по формуле

$$k_j = \frac{C_j}{C}, \text{ при условии, что } \sum_{j=1}^n k_j = 1,$$

где  $C_j$  — балансовая стоимость  $j$ -й составной части объекта на начало текущего года;  $C$  — балансовая стоимость объекта на начало те-

кущего года при условии, что  $C = \sum_{j=1}^n C_j$ .

Определим степень разрушения объекта, состоящего из двух зданий, подвергнутого воздействию поражающих факторов обычных средств поражения, при следующих значениях:  $\Pi_1 = 30 \%$ ,  $\Pi_2 = 50 \%$ . Балансовые стоимости зданий (сооружений) основного производства имеют следующие значения:  $C_1 = 60$  млн руб.,  $C_2 = 50$  млн руб. Суммарная балансовая стоимость двух зданий —  $C = 110$  млн руб. Тогда степень разрушения объекта будет равна

$$\begin{aligned} \Pi &= (30 \times 60/110) + (50 \times 50/110) = \\ &= 16,3 + 22,7 \approx 39 \%. \end{aligned}$$

К объектам, признанным пригодными для дальнейшей эксплуатации после воздействия обычных средств поражения, при условии их восстановления, можно отнести объекты при следующих характеристиках повреждений их составных частей:

- повреждены кровля, окна, двери;
- повреждены кровля, окна, двери, частично перегородки;
- частичное повреждение конструктивных элементов, влияющих на характеристики несущей способности объекта;
- значительные повреждения конструктивных элементов, не влияющих на характеристики несущей способности составных частей объекта.

Подлежат восстановлению:

- объекты, на которых составные части имеют слабую степень повреждения (до 30 % кровли, оконные и дверные проёмы, внутренние перегородки);
- объекты, на которых составные части имеют среднюю степень повреждения (до 50 % кровли, трещины в несущих конструкциях, оконные и дверные проёмы, внутренние перегородки);
- объекты, на которых составные части имеют среднюю степень повреждения и частично сильную степень повреждения вспомогательных (второстепенных) по значению зданий и сооружений.



## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 6

Определение степени повреждения многопролетного цеха

Наименование элемента	Описание элементов	Доля износа элемента, $I_z$	Процент разрушения, $P_{\text{ч}}$	Степень повреждения элемента, $P_i$	Удельные веса по УПВС, $V_i$	Рассчитанная степень повреждения конструктивного элемента (гр. 5×гр. 6)/100
1	2	3	4	5	6	7
Фундаменты	Железобетонный	0,4	0,0	40	13	5,2
Каркас здания	Железобетонный	0,4	20	52	36	18,7
Стены и перегородки	Кирпичные	0,5	30	65	6	3,9
Перекрытия	Железобетонные	0,5	10	55	6	3,3
Кровля	Рулонная тёплая	0,3	30	51	4	2,0
Полы	Кислотоупорные	0,2	15	32	9	2,9
Проёмы	Кирпичные	0,4	60	76	2	1,5
Отделочные работы	Штукатурка		100	100	2	2,0
Прочие работы	Имеются		100	100	2	2,0
Внутрицеховые помещения (всех назначений)	Имеется	0,3	60	72	7	5,0
Внутренние сантехнические устройства и электроосвещение	Имеются		100	100	4	4,0
Технологические трубопроводы	Металлические		100	100	6	6,0
Технологическое оборудование	Имеются	0,1	40	46	3	1,4
Итого					100	58

Объекты, имеющие сильную степень разрушения (до 75 %) и полные (100 %) разрушения, в условиях военного времени восстановлению подлежат только в исключительных случаях, при сохранившейся в рабочем состоянии вспомогательной (обеспечивающей) инфраструктуре или невозможности размещения заказов на других предприятиях промышленности вследствие уникальности разрушенного предприятия (организации).

3. *Расчёт стоимости восстановления объекта после воздействия поражающих факторов обычных средств поражения.* Стоимость восстановления объекта ( $C_v$ ) с учётом его объёма и степени повреждения определяется по формуле

$$C_v = C_n \times O \times I_u \times K_c, \quad (4)$$

где  $C_n$  — восстановительная стоимость 1 м<sup>3</sup> здания, определяемая по [2], руб.;  $O$  — строительный объём объекта из акта обследования, м<sup>3</sup>;  $I_u$  — индекс изменения цен строительно-монтажных работ на дату определения стоимости по отношению к ценам, используемым в [5];  $K_c$  — коэффициент пересчёта стоимостного выражения повреждения объекта в стоимость его восстановления, соответствующий определённому проценту повреждения объекта и определяемый по таблице 7.

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 7

Коэффициент пересчёта стоимостного выражения повреждения объекта в стоимость его восстановления, соответствующий определённому проценту повреждения здания (сооружения)

Общая характеристика технического состояния	Степень повреждения (П)%	Коэффициент пересчёта ( $K_c$ )	Характеристика степени повреждения объекта
Имеются отдельные устраняемые при текущем ремонте незначительные повреждения, не влияющие на эксплуатацию конструктивного элемента. Капитальный ремонт нужно проводить лишь на отдельных участках	1	0,006	Незначительная
	2	0,011	
	3	0,017	
	4	0,022	
	5	0,028	
	6	0,033	
	7	0,0389	
	8	0,044	
	9	0,05	
	10	0,055	
	11	0,061	
	12	0,066	
	13	0,072	
	14	0,077	
	15	0,083	
	16	0,088	
	17	0,094	
	18	0,099	
	19	0,105	
	20	0,11	
Конструктивные элементы в целом пригодны для эксплуатации, но требуется некоторый капитальный ремонт, наиболее целесообразный для этой стадии	21	0,12	Слабая
	22	0,133	
	23	0,145	
	24	0,158	
	25	0,171	
	26	0,183	
	27	0,196	
	28	0,208	
	29	0,221	
	30	0,234	
	31	0,246	
	32	0,259	
	33	0,272	
	34	0,284	
	35	0,297	
	36	0,309	
	37	0,322	
	38	0,335	
	39	0,347	
	40	0,36	



## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 7

Общая характеристика технического состояния	Степень повреждения (П)%	Коэффициент пересчёта (K <sub>c</sub> )	Характеристика степени повреждения объекта
Эксплуатация конструктивных элементов возможна лишь при условии значительного капитального ремонта	41	0,37	Средняя
	42	0,398	
	43	0,426	
	44	0,454	
	45	0,482	
	46	0,509	
	47	0,537	
	48	0,565	
	49	0,593	
	50	0,621	
	51	0,649	
	52	0,677	
	53	0,705	
	54	0,733	
	55	0,76	
	56	0,788	
	57	0,816	
	58	0,844	
	59	0,872	
	60	0,90	
Состояние несущих конструктивных элементов аварийное, а несущих — весьма ветхое. Ограниченное выполнение конструктивными элементами своих функций возможно лишь после проведения охранных мероприятий или полной замены конструктивного элемента	61	0,91	Сильная
	62	0,925	
	63	0,941	
	64	0,956	
	65	0,971	
	66	0,986	
	67	1,002	
	68	1,017	
	69	1,032	
	70	1,047	
	71	1,063	
	72	1,047	
	73	1,063	
	74	1,108	
	75	1,124	
	76	1,139	
	77	1,154	
	78	1,169	
	79	1,185	
	80	1,20	
Конструктивные элементы находятся в разрушенном состоянии	Свыше 80	—	Полная

4. Расчёт времени на восстановление объекта, получившего повреждения (разрушения) при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения.

Время на восстановление объекта ( $T_{\text{в}}$ ) определяется по следующей зависимости:

$$T_{\text{в}} = \frac{C_{\text{в}} \times UB}{TB \times N}, \text{ сут}, \quad (5)$$

где  $C_{\text{в}}$  — стоимость восстановления объекта, руб.;  $UB$  — уровень восстановления разрушенного производства в долях от объёма производства до воздействия поражающих факторов обычных средств поражения.  $UB$  следует принимать от 0,5 до 1;  $TB$  — товарная выработка на 1 работающего строителя средней квалификации в сутки;  $N$  — средняя численность работающих при выполнении подготовительных и восстановительных работ, чел.

В условиях, когда срок восстановления ( $T$ ) объекта задан, количество работающих, необходимых для выполнения

восстановительных работ, определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{C_{\text{в}} \times UB}{TB \times T}, \text{ чел.} \quad (6)$$

#### Выводы:

1. Около 70 % водохозяйственных объектов компании «Вода Донбасса» вдоль линии разграничения конфликтующих сторон протяжённостью 60–70 км имеют степень разрушения от «слабой» до «полной».

2. Степень повреждения конструктивных элементов объекта после поражающего воздействия устанавливается в совокупности двух факторов: наличия полученных повреждений и разрушений и имеющегося физического износа конструктивных элементов.

3. Оценка степени повреждений, степени и сроков восстановления объектов осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 42.2.01–2014.

#### Библиографический список

1. Оценка рисков КП «Попаснянский водоканал» [Текст] : отчёт КППРВ. — Донецк, 2017. — 61 с.
2. ГОСТ Р 42.2.01-2014. Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчёта [Текст]. — Введ 2015-06-01. — М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. — 47 с.
3. ВСН 53–86 р. Правила оценки физического износа зданий [Текст]. — Введ. 1988-07-01. — М. : ГОСГРАЖДАНСТРОЙ, 1988. — 54 с.
4. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст]. — Введ. 2012–04–12. — М. : ГУП МНИИТЭП, 2011. — 89 с.
5. Инструкция по переоценке и определению износа основных фондов хозрасчётных государственных, кооперативных (включая колхозы) и общественных предприятий и организаций по состоянию на 1 января 1972 года [Текст] / ЦСУ СССР.

© Дрозд Г. Я.

© Хвортова М. Ю.

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

Статья поступила в редакцию 19.04.19.

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

### ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ УРАЖАЮЧИХ ФАКТОРІВ

*У статті наведено відомості про унікальні об'єкти забезпечення життєдіяльності населення Донбасу і гідротехнічні споруди, що перебувають у зоні військового конфлікту під впливом звичайних засобів ураження. Наведено приклади пошкодження (руйнування) ряду об'єктів з методикою оцінки їх ступеня, розрахунку вартості і часу відновлення при впливі уражаючих факторів звичайних засобів ураження.*

**Ключові слова:** водопровідно-каналізаційне господарство, оцінка технічного стану будівлі, стійкість функціонування об'єкта, звичайні засоби ураження.

**Doctor of Technical Sciences Drozd G. Ya., PhD in Engineering Khvorotova M. Yu.**

*(IBA and HCS LNU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, drozd.g@mail.ru)*

### MATTER OF ASSESSMENT THE TECHNICAL STATE OF CONSTRUCTION SITES UNDER DAMAGE EFFECTS

*The article provides information about the unique support facilities of subsistence of population of the Donbass and hydraulic structures in the zone of military conflict under the influence of conventional weapons. There have been given the examples of damage (destruction) of a number of objects with assessment technique of their degree of destruction, calculating the cost and time of reconstruction under the influence of damaging factors of conventional weapons.*

**Key words:** water and sewage utilities, building assessment, sustainability of the facility, conventional weapons.

УДК 691.327.333

*Вишторский Е. М.**(ЛНАУ, г. Луганск, ЛНР, vishtorsky@gmail.com),**к.т.н. Назарова А. В.**(ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, Nazarova-Anto@yandex.ua),**Сороканич С. В.**(ЛНАУ, г. Луганск, ЛНР, stas.sorokanich.82@mail.ru)*

# ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕНОБЕТОНА НОРМАЛЬНОГО ТВЕРДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ТРЁХФАКТОРНОГО ПЛАНИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

*В данной статье приведены математические модели зависимости средней плотности и прочности пенобетона от переменных факторов — водоцементного отношения (В/Ц), количества водоредуцирующей химической добавки и времени перемешивания пенобетонной смеси. С привлечением программных комплексов PlanExp B-D13 и Mathcad удалось выявить наиболее оптимальные рецептурно-технологические параметры изготовления пенобетона, а именно более высокий показатель по прочности на сжатие при его минимальной средней плотности.*

**Ключевые слова:** *пенобетон, водоцементное отношение, водоредуцирующая добавка, прочность, плотность, математическое планирование.*

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** При проектировании неавтоклавных цементных пенобетонов существует необходимость получения пенобетона с наиболее минимальными значениями средней плотности и коэффициента теплопроводности, малой сорбционной влажностью, достаточной морозостойкостью, а также высокой прочностью [1, 2]. Для уменьшения ошибочных или ненадёжных решений проектирования необходимы системный подход и использование современной вычислительной техники для всестороннего анализа и выбора путей оптимизации рецептурных и технологических параметров производства пенобетонов [3].

Для получения оптимальной пористой структуры пенобетона необходимо подобрать такой состав пенобетонной смеси, при котором требуемые проектные характеристики достигаются при меньшем расходе вяжущего, пенообразователя и воды с одновременным обеспечением наибольшей однородности свойств пенобетона [4].

В технологии бетона применяются различные математические методы, которые

условно можно классифицировать на три группы [5]:

1) вероятностно-статистические методы, включающие использование общей теории вероятности, описательной статистики, выборочного метода и проверку статистических гипотез, дисперсного и регрессионного анализа, математической теории экспериментов и др.;

2) методы исследования операций, которые включают линейное, нелинейное и динамическое программирование, теорию игр, теорию массового обслуживания, теорию графов и сетей и т. д.;

3) методы математического анализа, включающие дифференциальное, интегральное и векторное исчисление, дифференциальные уравнения, в том числе уравнения математической физики, используемые для составления и расчёта математических моделей на основе определённых предпосылок о физикохимии исследуемых процессов [6].

При использовании современных вычислительных математических программных комплексов появляется возможность с минимальными затратами материальных и

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

временных ресурсов получить необходимую информацию для построения математических моделей.

**Постановка задачи.** Задачей экспериментальных исследований является поиск оптимальных рецептурно-технологических параметров, влияющих на основные физико-механические характеристики неавтоклавно пенобетона — плотность и прочность.

**Изложение материала и его результаты.** Составы неавтоклавно пенобетона рассчитаны с учётом действующих нормативно-технических документов СН 277–80 [7] и ГОСТ 25485–89 [8]. Приготовление пенобетонной смеси осуществлялось по одностадийной технологии с использованием высокооборотного смесителя.

В качестве рассматриваемых переменных факторов при планировании эксперимента принято:

$X_1$  — водоцементное отношение;

$X_2$  — количество водоредуцирующей добавки «Хемикс Art-2» — % от расхода цемента;

$X_3$  — время перемешивания пенобетонной смеси, мин.

В качестве выходных параметров выбраны:

$Y_1$  — средняя плотность пенобетона,  $\text{кг/м}^3$ ;

$Y_2$  — прочность на сжатие при нормальном твердении в 28 суток, МПа.

При разработке математической модели использовалось программно-алгоритмическое средство обработки данных PlanExp B-D13. Графическая интерпретация результатов выполнена в программном комплексе Mathcad.

Факторы и интервалы их варьирования представлены в таблице 1, матрица планирования эксперимента и выходные параметры опытов — в таблице 2, коэффициенты математических моделей — в таблице 3.

Таблица 1

Факторы и интервалы их варьирования

Факторы		$X_1$	$X_2$	$X_3$
Уровни факторов	Нижний уровень (–1)	0,38	0,6	3
	Основной уровень (0)	0,4	0,85	4
	Верхний уровень (+1)	0,42	1,1	5
Интервал варьирования		0,02	0,25	1

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента и выходные параметры опытов

№ опыта	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			$Y_1$ — средняя плотность в сух. состоянии, $\text{кг/м}^3$			$Y_2$ — прочность в 28 сут, МПа		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
1	–1	–1	–1	0,38	0,6	3	730	741	732	2,5	2,6	2,3
2	+1	–1	–1	0,42	0,6	3	621	630	633	3,2	3,3	3,4
3	–1	+1	–1	0,38	1,1	3	592	588	590	1,5	1,7	2,0
4	–1	–1	+1	0,38	0,6	5	640	635	648	2,3	1,9	2,2
5	–1	0,19	0,19	0,38	0,89	4,19	551	565	542	2,7	2,5	2,2
6	0,19	–1	0,19	0,404	0,6	4,19	590	598	599	1,6	1,5	1,5
7	0,19	0,19	–1	0,404	0,89	3	521	543	532	1,7	2,2	2,2
8	–0,29	+1	+1	0,394	1,1	5	452	443	449	1,4	1,7	1,5
9	+1	–0,29	+1	0,42	0,778	5	411	422	421	1,6	1,3	1,7
10	+1	+1	–0,29	0,42	1,1	3,71	530	542	530	2,7	2,5	3,0

Таблица 3

Коэффициенты уравнений математических моделей

	b0	b1	b2	b3	b11	b12	b13	b22	b23	b33
Y <sub>1</sub>	506,296	-42,986	-53,055	-58,195	25,074	20,535	-10,174	59,375	-1,251	-20,493
Y <sub>2</sub>	1,761	-0,235	0,291	-0,358	0,517	0,099	0,032	0,139	-0,224	-0,162

Проверка значимости коэффициентов математических моделей выполнена по критерию Стьюдента и представлена в таблице 4. Адекватность математических моделей проверена по критерию Фишера.

Значения критерия Фишера для Y<sub>1</sub>: табличное — 4,35; расчётное — 3,12.

Значения критерия Фишера для Y<sub>2</sub>: табличное — 2,87; расчётное — 2,79.

Таблица 4

Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели

Коэффициенты	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>	
	t-критерий	Значимость*	t-критерий	Значимость*
b0	76,674	1	9,223	1
b1	15,21	1	2,876	1
b2	18,773	1	3,561	1
b3	20,592	1	4,381	1
b11	4,59	1	3,273	1
b12	6,095	1	1,016	0
b13	3,02	1	0,328	0
b22	10,87	1	0,88	0
b23	0,371	0	2,299	1
b33	3,752	1	1,026	0

Значимость\* — 1/0 — значимый/незначимый

В результате расчёта в программном комплексе PlanExp B-D13 получены математические модели зависимости в кодированном виде для средней плотности пенобетона в сухом состоянии и прочности в 28 суток. Алгоритм программы включает основные процедуры — расчёт коэффициентов функции отклика и статистическую обработку математической модели. Все основные вычисления производятся циклично, что позволяет моментально пере-

страивать математическую модель, изменяя входные данные.

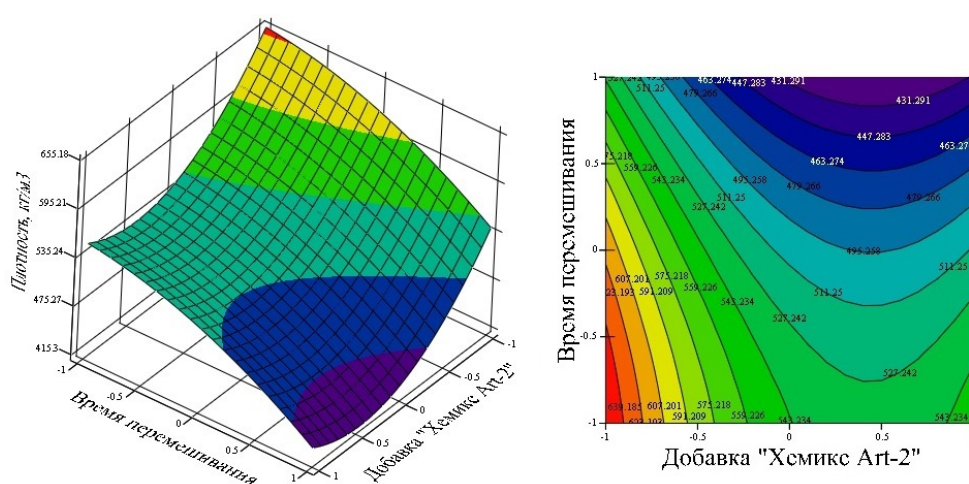
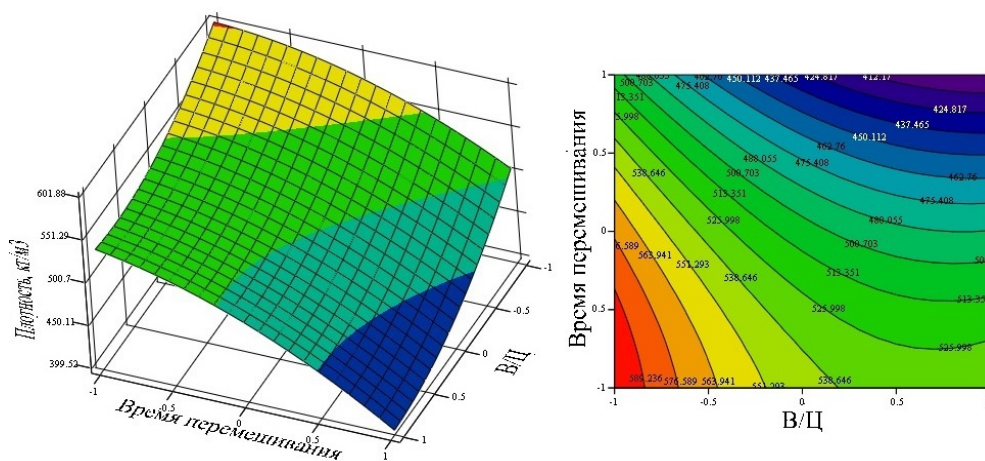
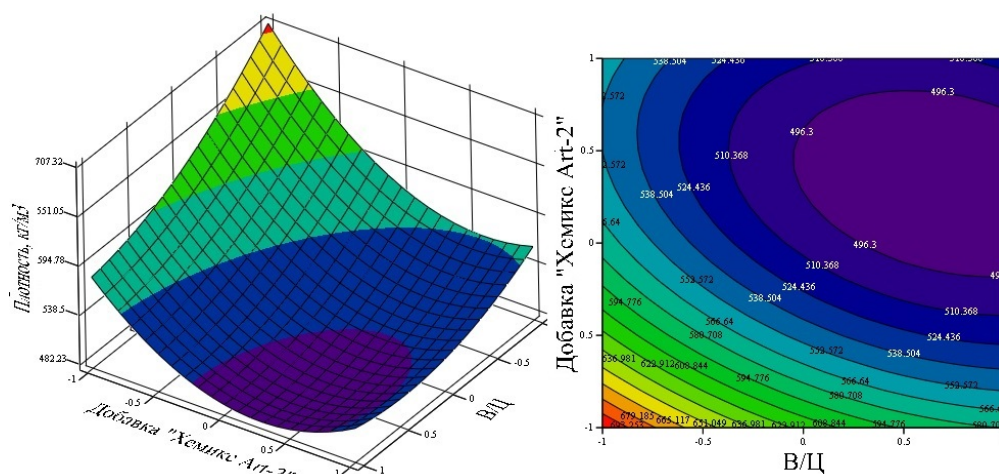
Математическая модель зависимости от переменных факторов (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>) для средней плотности пенобетона в сухом состоянии:

$$Y_1 = 506,296 - 42,986 \cdot X_1 - 53,055 \cdot X_2 - 58,195 \cdot X_3 + 25,074 \cdot X_1^2 + 59,375 \cdot X_2^2 - 20,493 \cdot X_3^2 + 20,535 \cdot X_1 \cdot X_2 - 10,174 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,251 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (1)$$

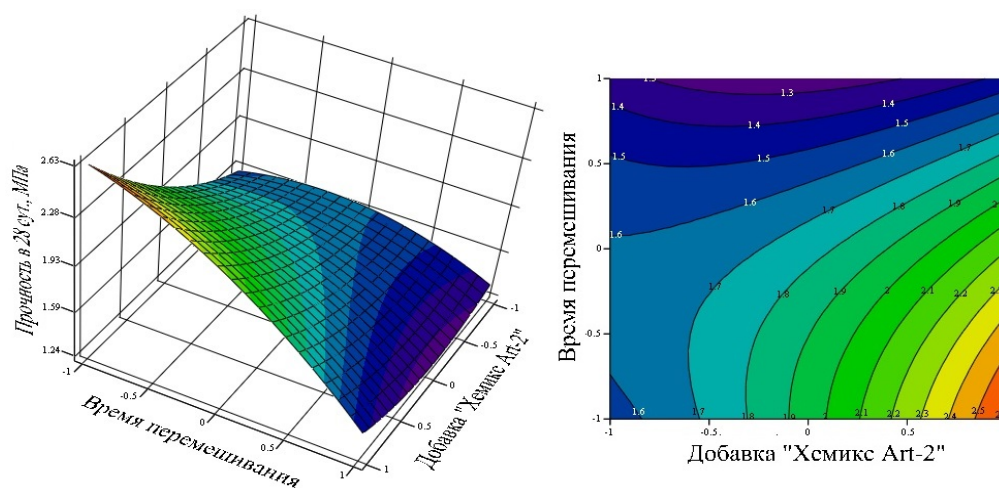
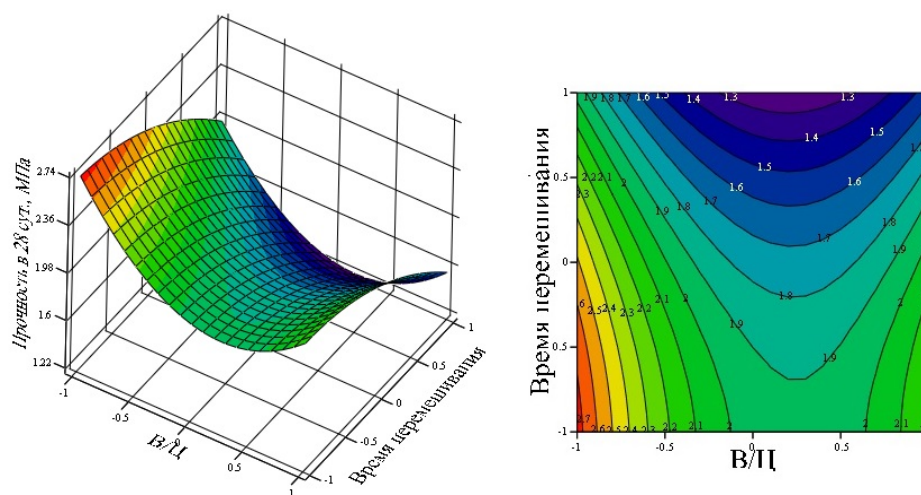
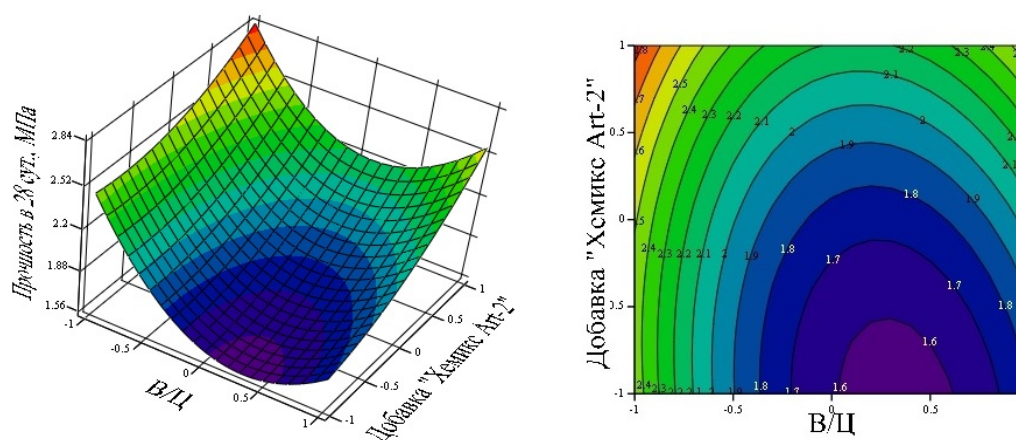
Математическая модель зависимости от переменных факторов (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>) для прочности пенобетона в 28 суток:

$$Y_2 = 1,761 - 0,235 \cdot X_1 + 0,291 \cdot X_2 - 0,358 \cdot X_3 + 0,517 \cdot X_1^2 + 0,139 \cdot X_2^2 - 0,162 \cdot X_3^2 + 0,099 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,032 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,224 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (2)$$

Поскольку для графической интерпретации функции трёх переменных требуется четырёхмерное пространство, с целью визуального упрощения и удобства работы с математической моделью функцию трёх переменных необходимо преобразовать в функцию двух переменных, поочередно принимая константой один из факторов. На основании полученных математических моделей для средней плотности пенобетона в сухом состоянии и его прочности в 28 суток построены графические интерпретации поверхностей откликов в программном комплексе Mathcad (рис. 1–6). Для построения поверхности каждый из факторов фиксировался на нулевом уровне. Для определения приемлемых значений варьируемых факторов выполнен поиск компромиссных значений с помощью анализа сечений поверхностей откликов.

Рисунок 1 Поверхность отклика при нулевом уровне В/Ц,  $Y_1 = f(X_2, X_3)$ Рисунок 2 Поверхность отклика при нулевом уровне количества введённой добавки «Хемикс Арт-2»,  $Y_1 = f(X_1, X_3)$ Рисунок 3 Поверхность отклика при нулевом уровне времени перемешивания пенобетонной смеси,  $Y_1 = f(X_1, X_2)$



Рисунок 4 Поверхность отклика при нулевом уровне В/Ц,  $Y_2 = f(X_2, X_3)$ Рисунок 5 Поверхность отклика при нулевом уровне количества введённой добавки «Хемикс Art-2»,  $Y_2 = f(X_1, X_3)$ Рисунок 6 Поверхность отклика при нулевом уровне времени перемешивания пенобетонной смеси,  $Y_2 = f(X_1, X_2)$



При выполнении анализа сечений поверхностей откликов минимальная средняя плотность неавтоклавного пенобетона достигается при:

- $V/C = 0,42$ ;
- количестве введённой водоредуцирующей добавки «Хемикс Art-2» 0,9 % от массы цемента;
- времени перемешивания пенобетонной смеси 4,5...5 мин.

Наибольшее значение прочности неавтоклавного пенобетона достигается при:

- $V/C = 0,38$ ;
- количестве введённой водоредуцирующей добавки «Хемикс Art-2» 1,1 % от массы цемента;
- времени перемешивания пенобетонной смеси 5 мин.

При решении компромиссной задачи требовалось найти значения факторов, обеспечивающих максимально возможную прочность на сжатие при значениях средней плотности на допустимом уровне. В таблице 5 приведены результаты оптимизации переменных факторов (в числителе в кодированном виде, в знаменателе — в натуральном выражении).

В качестве основного критерия оптимизации принят показатель прочности на сжатие при нормальном твердении в 28 суток, а в качестве дополнительного — показатель плотности.

### Библиографический список

1. Шахова, Л. Д. Повышение эффективности производства неавтоклавных пенобетонов с заданными свойствами [Текст] : дисс.... докт. техн. наук : 05.23.05 / Шахова Л. Д. ; Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. — Белгород, 2007. — 417 с.
2. Ружинский, С. И. Всё о пенобетоне [Текст] / С. И. Ружинский, А. А. Портник, А. В. Савиных. — СПб. : ООО «Стройбетон», 2006. — 636 с.
3. Кривальцевич, Т. В. Исследование физико-механических свойств пенобетона с использованием математического планирования эксперимента [Текст] / Т. В. Кривальцевич, Е. В. Гурова // Техника и технологии строительства. — 2017. — № 2 (10). — С. 54–59.
4. Стешенко, А. Б. Оптимизация технологических приёмов приготовления пенобетонной смеси [Текст] / А. Б. Стешенко, А. И. Кудяков // Актуальные проблемы современности. — 2016. — № 2. — С. 197–293.
5. Ординарцева, Н. П. Планирование эксперимента в измерениях [Текст] / Н. П. Ординарцева // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2013. — № 3. — С. 72–76.

Таблица 5  
Оптимальные значения факторов

Фактор	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Исследование прочности на сжатие	$\frac{-1}{0,38}$	$\frac{+1}{1,1}$	$\frac{+1}{5}$
Исследование средней плотности	$\frac{+1}{0,42}$	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{+0,75...+1}{4,5...5}$
Рекомендуемые значения факторов	$\frac{-1}{0,38}$	$\frac{+1}{1,1}$	$\frac{+0,75}{4,5}$

**Выводы.** Математический трёхфакторный планированный эксперимент с использованием современных вычислительных комплексов позволяет реализовать все возможные комбинации факторов на всех выбранных уровнях исследования с проведением наименьшего количества опытов в минимальные временные сроки.

По результатам проведённого математического трёхфакторного планированного эксперимента установлено, что оптимальные рецептурно-технологические параметры неавтоклавного цементного пенобетона достигаются при:

- 1) водоцементном отношении, равном 0,38;
- 2) количестве введённой водоредуцирующей добавки «Хемикс Art-2» 1,1 % от массы цемента;
- 3) времени перемешивания пенобетонной смеси 4,5 мин.

6. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст] : учебник / Ю. М. Баженов. — [5-е изд.]. — М. : Издательство АСВ, 2011. — 525 с.

7. СН-277–80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона [Текст] / Госстрой России. — М. : ГУП ЦПП, 2001. — 47 с.

8. ГОСТ 25485–89. Бетоны ячеистые. Технические условия [Текст]. — М. : ИПК Издательство стандартов. — 2003. — 14 с.

© Вишторский Е. М.

© Назарова А. В.

© Сороканич С. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ПГС и А ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я., к.т.н., доц. каф. АЗиС ЛНАУ Скотаренко В. В.*

Статья поступила в редакцию 04.06.19.

**Вишторський Є. М.** (ЛНАУ, м. Луганськ, ЛНР), **к.т.н. Назарова А. В.** (ІБА та ЖКГ ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР), **Сороканич С. В.** (ЛНАУ, м. Луганськ, ЛНР)

# **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІНОБЕТОНА НОРМАЛЬНОГО ТВЕРДІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО ТРЬОХФАКТОРНОГО ПЛАНОВАНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

В даній статті наведено математичні моделі залежності середньої щільності та міцності пінобетону від змінних факторів — водоцементного відношення ( $W/C$ ), кількості водоредуруючої хімічної добавки та часу змішування пінобетонної суміші. Із залученням програмних комплексів PlanExp B-D13 та Mathcad вдалося виявити найбільш оптимальні рецептурно-технологічні параметри виготовлення пінобетону, а саме більш високий показник за міцністю на стиск при його мінімальній середній щільності.

**Ключові слова:** пінобетон, водоцементне відношення, водоредуруюча добавка, міцність, щільність, математичне планування.

**Vishtorsky E. M.** (LNAU, Lugansk, LPR, vishtorsky@gmail.com),

**PhD in Engineering Nazarova A. V.** (IBA and HCS LNU named after V. Dahl, Lugansk, LPR,

Nazarova-Anto@yandex.ua), **Sorokanich S. V.** (LNAU, Lugansk, LPR, stas.sorokanich.82@mail.ru)

# **OPTIMIZATION OF PRESCRIPTION-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE FOAM CONCRETE OF NORMAL HARDENING WITH THE USE OF MATHEMATICAL THREE-FACTOR PLANNED EXPERIMENT**

This article presents mathematical models of the dependence of the average density and strength of foam concrete on variable factors — water-cement ratio ( $W/C$ ), the amount of water-reducing chemical additives and the mixing time of the foam concrete mix. Using a software packages PlanExp B-D13 and Mathcad, it was possible to identify the most optimal formulation and technological parameters for the production of foam concrete, namely a higher rate of compressive strength with its minimum average density.

**Key words:** foam concrete, water-cement ratio, water reducing additive, strength, density, mathematical planning.



**МАШИНОСТРОЕНИЕ  
И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

---

**МАШИНОБУДУВАННЯ  
ТА МАШИНОЗНАВСТВО**

---

**MECHANICAL ENGINEERING  
AND MACHINE SCIENCE**



УДК 621.314.5

*к.т.н. Калюжный С. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),  
гл. инженер Мокрицкий М. И.,  
гл. механик Молочек А. В.,  
зам. гл. энергетика Бабкин В. А.  
(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» АМК, г. Алчевск, ЛНР)*

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ АЛЧЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

*Приведена силовая схема компьютерной модели токопараметрического вентильного преобразователя, предназначенного для реконструкции механизма перемещения мостовых кранов, с целью согласования скоростей вращения приводных двигателей. Даются результаты моделирования в сравнении с существующей на кране релейно-контакторной схемой привода.*

**Ключевые слова:** мостовой кран, механизм перемещения, согласование скоростей, крановая панель типа ДК, реконструкция панели.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** По физической сущности согласования вращения колёс крана, расположенных на противоположных сторонах моста, можно сказать, что это проблема давняя и очень сложная. Существует первая, известная авторам, статья сотрудников Московского ВНИИМЕТМАШ (возможно, есть ещё и более ранние) по этой проблеме [1].

Проблема заключается в том, что ходовая часть перемещения моста любого крана принципиально не может иметь какую-то заведомо детерминированную нагрузочную диаграмму, которую должен отрабатывать электропривод (ЭП). Заводы подъёмно-транспортного оборудования выпускают сейчас краны с разным количеством колёсных тележек, расположенных по сторонам моста. Каждая тележка имеет, как правило, свой индивидуальный двигатель, механические характеристики  $\omega = f(M)$  которых не могут быть одинаковыми уже при изготовлении на электромеханическом заводе; редукторы и подшипники колёс в процессе эксплуатации смазываются по-разному из-за усыхания сальников и прокладок; диаметры бочки качения колёс могут отличаться (колёса после наплавки и последующей обработки на токарном станке);

головки подкрановых рельс изношены на разных участках пути, где больше, а где меньше (рельсы меняют не все сразу, а участками); реборды колёс имеют также разный износ; а самое главное — нагрузка на приводные колёса моста крана сильно зависит от положения тележки, перемещающей груз вдоль моста, и от величины самого груза на крюке.

Все указанные выше факторы приводят к различию скоростей вращения двигателей сторон моста крана и, как следствие, к перекосу диагоналей моста при его движении по рельсам, смонтированным на колоннах цеха. Диагонали моста всё время «играют», что приводит к износу реборд колёс и даже появлению трещин в сварных швах балок моста крана. Авторы хорошо изучили эту проблему и провели тензометрию нагрузок в элементах конструкции моста крана [2].

Очевидно, что необходимо согласовывать вращение двигателей сторон моста крана по критерию минимизации износа механического оборудования. Некоторые разработчики предлагают использовать самое радикальное решение — ставить тензодатчики, с помощью которых можно измерять усилия, перекашивающие мост, а затем при помощи ЭП, регулируя его ско-

рость, вводить корректировку. Есть ряд других решений, посвящённых этой проблеме в краностроении, защищённых кандидатскими и докторской диссертациями.

Например, в диссертации Дорофеева А. А., проводившего исследования на базе Липецкого металлургического комбината, предлагается измерять отклонение реборд колёс относительно головки рельса [3]. В другой работе предлагается обеспечивать питание каждого двигателя от своего преобразователя частоты и при помощи наблюдателя состояний (модное сейчас направление в теоретическом электроприводе) производить корректировку скоростей приводных двигателей необходимым образом [4].

В последнем случае можно себе представить, во что превратится, например, 4-двигательный мост крана — в кучу силовой электроники и микропроцессорной техники. Для каких-то ответственных кранов типа металлургических 470-тонных, которые заливают чугун в сталеплавильные конвертеры, указанные решения и подойдут. Однако следует отметить, что на АМК в 2010 году начали работать два конвертерных цеха с такими кранами и с комплектными ЭП фирмы Siemens, но никаких премудростей по согласованию скоростей двигателей на них нет. На мосту такого огромного крана стоит специальный электротехнический вагон с воздушными фильтрами и кондиционерами, в котором расположены преобразователи частоты.

На мосту кранов средней грузоподъёмности (от 16 до 75 тонн) вагон с кондиционером ставить некуда, а если говорить о реконструкции уже действующих кранов, у которых механические узлы ещё сохранились в относительно хорошем состоянии (в советское время умели строить добротно, машиностроительные заводы металл не экономили), вообще эту проблему решить чрезвычайно сложно из-за узкого прохода на приводной балке крана. Эти краны раньше комплектовались реостатными релейно-контакторными панелями типа ДК в шкафном исполнении

производства московского завода «Динамо». На АМК таких кранов работает сейчас до сотни штук. Пыли с металлическими включениями на мосту крана наблюдаются многие миллиметры. В таких условиях не сможет длительно и надёжно работать любая электроника.

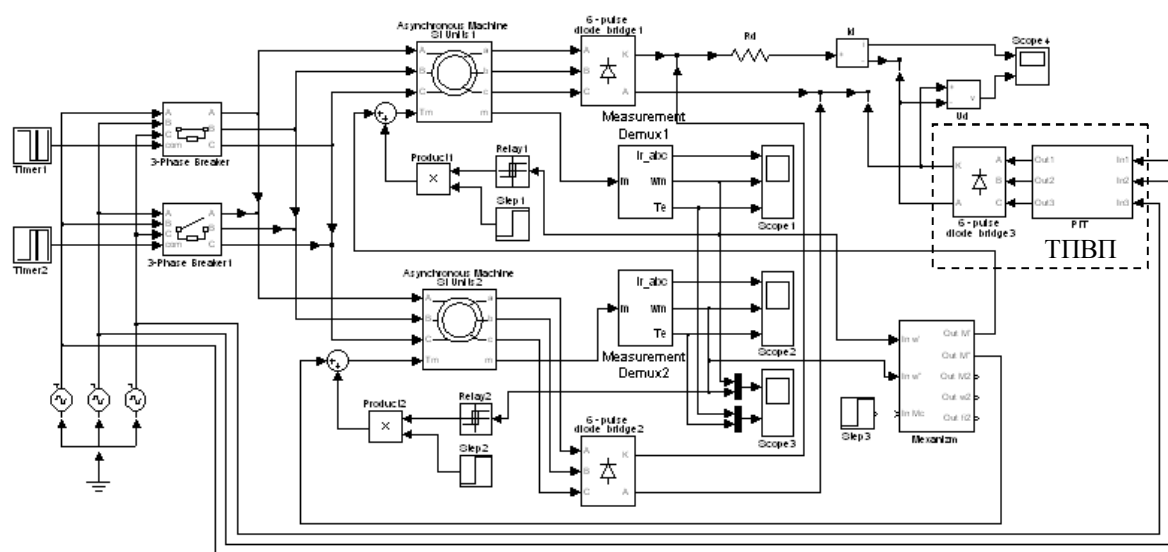
**Постановка задачи.** Для указанных кранов авторы предлагают производить реконструкцию роторных цепей двигателей без замены, собственно, двигателей с фазным ротором при использовании для их питания неуправляемого токопараметрического вентильного преобразователя (ТПВП), представляющего собой источник энергии с «токовой» внешней характеристикой [5]. Ротор каждого двигателя соединяют со своим диодным мостом, далее мосты объединяют по параллельной схеме и через небольшое силовое сопротивление подключают к выпрямителю параметрического источника тока (ПИТ).

**Изложение материала и его результаты.** На рисунке 1 приведена схема компьютерной модели для двухдвигательного ЭП моста крана в среде *Matlab/Simulink/SimPowerSystem*. Согласование скоростей выполняется за счёт простого перераспределения токов, что происходит на основании первого закона Кирхгофа, широко известного из университетского курса электротехники. Согласование выполняется по роторным цепям двигателей, при этом последние представляют собой машины двойного питания (источник напряжения по статору и источник тока по ротору) [6].

Параметры модели: двигатели краново-металлургические типа МТМ 412–6, 22кВт, 380 В, 960 об/мин,  $M_n$  — 220 Н·м,  $I_{pn}$  — 63 А,  $J_{пр}$  — 1,0 кг·м<sup>2</sup>; ПИТ:  $X_p$  — 4,6 Ом (в каждой фазе — 0,015 Гн; 0,05 Ом; 700 мкФ),  $R_d$  — 3 Ом; моменты статической нагрузки на обеих сторонах моста соответственно равны:  $M_{c1}$  — 50 Н·м;  $M_{c2}$  — 220 Н·м (реактивные).

Для моделирования упругих и люфтовых связей в электроприводах моста крана на рисунке 1 применяется блок *Mexanizm*, схема модели которого показана на рисунке

ния скоростей по отношению к приводу моста крана, работающему без какого-либо согласования. Таким приводом является, как указано выше, морально и физически устаревшая схема релейно-контакторного управления двигателями моста крана, разработанная ещё в начале прошлого века и применяющаяся по сей день (из-за своей простоты) в составе панелей крановых типа ДК; как отмечалось ранее, производитель — уже несуществующий, московский электромеханический завод «Динамо».



83



На рисунке 3 показана схема модели существующего ЭП моста крана с релейно-контакторным управлением. Взамен крановой панели типа ДК авторами разработана и подготовлена для серийного производства панель типа ДКСС–63, модель которой представлена на рисунке 1. На рисунке 4 приведены результаты моделирования скорости и момента двигателей моста крана средней грузоподъёмности, работающего с новой панелью типа ДКСС, обеспечивающей согласование скоростей (рис. 4а), и со старой панелью типа ДК (рис. 4б) без согласования.

Результаты моделирования убедительно показывают, что при питании роторных цепей приводных двигателей моста крана от ТПВП рассогласование скоростей перемещения сторон крана снижается с 45–50 % до 5–10 %, что позволяет существенно уменьшить перекосы в диагоналях моста крана. Так как известно, что перекосы диагоналей приводят к дополнительным напряжениям в сварных металлоконструкциях крана, то их уменьшение снижает веро-

ятность появления трещин в сварных швах поперечных и продольных балок крана, а также к уменьшению истирания реборд колёс и головок подкрановых рельс.

Снижаются также амплитудные значения электромагнитных моментов, развиваемых двигателями, что положительно влияет на ресурс эксплуатации промвалов, редукторов и подшипников. Наблюдается плавность разгона и торможения двигателей, для осуществления которых совершенно не требуется правильная настройка пусковых реле времени, как это обязательно должно делаться в старых крановых панелях типа ДК.

Вышеуказанные выводы соответствуют результатам непрерывной (с 1999 г.) опытно-промышленной эксплуатации крана № 15, работающего в ЛПЦ-2 на участке погрузки с помощью электромагнитов готовых листов в вагоны. По информации крановой механической службы цеха межремонтный цикл по указанному крану увеличился в два раза.

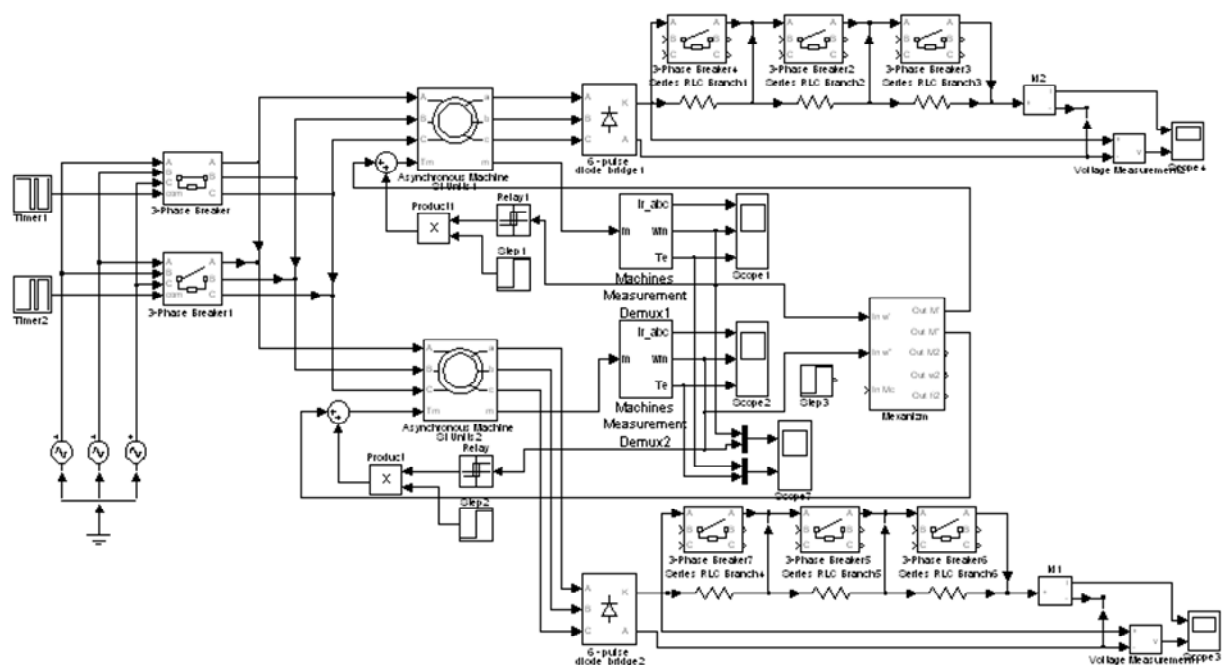
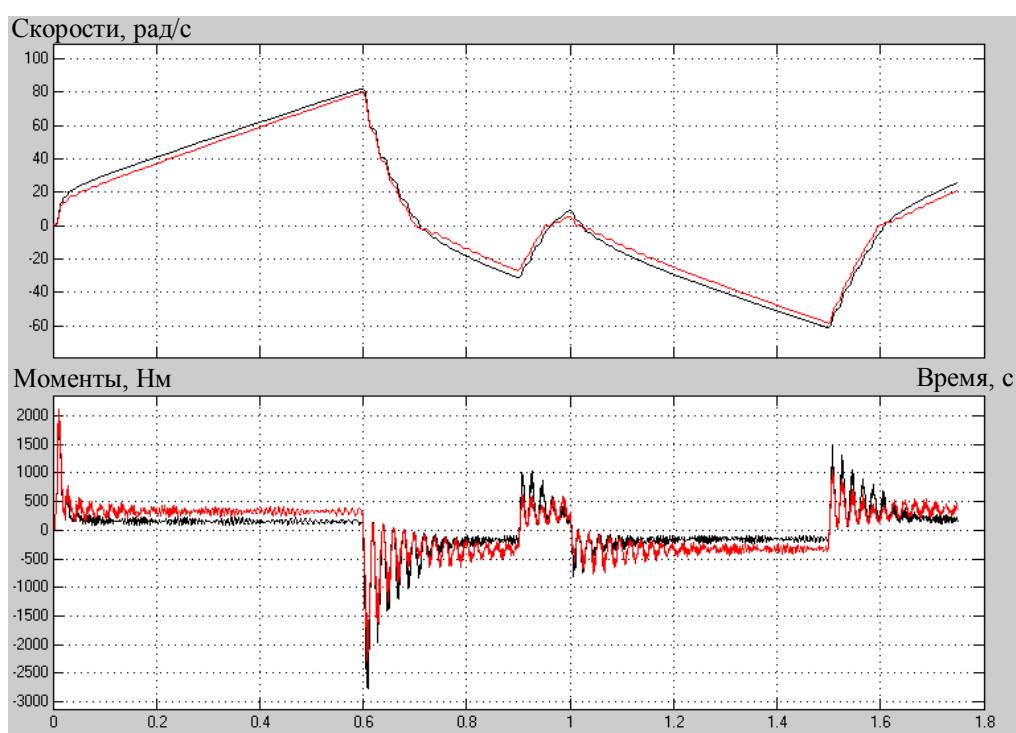
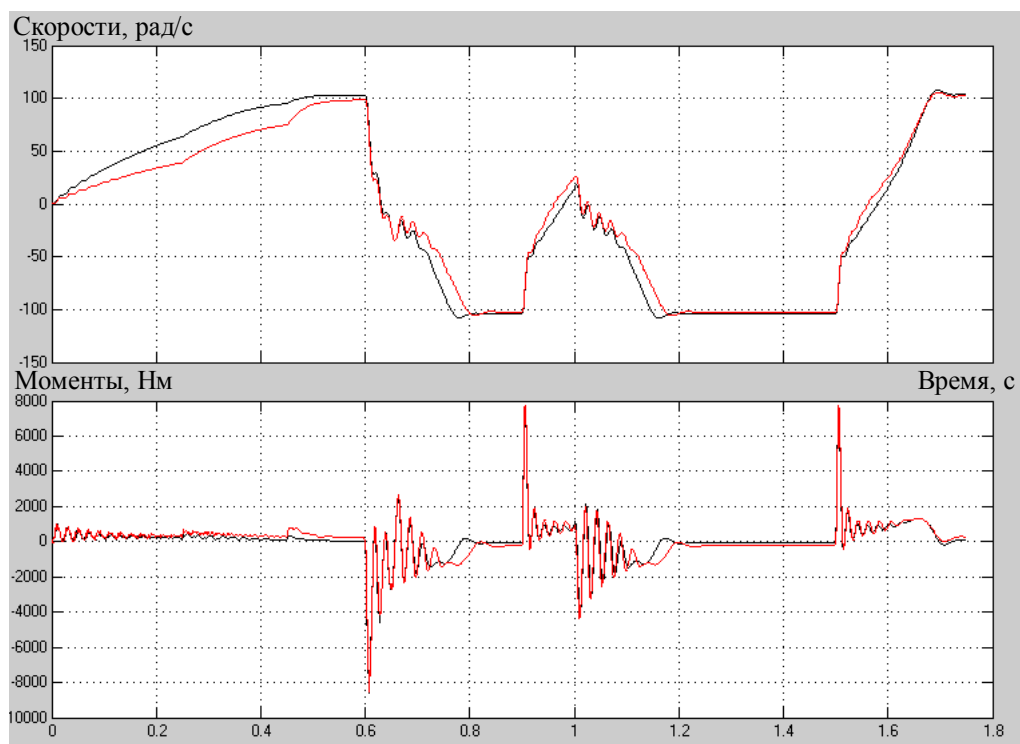


Рисунок 3 Схема модели ЭП моста крана с панелью типа ДК



а)



б)

Рисунок 4 Результаты моделирования скорости и момента двигателей ЭП моста крана при работе с панелями: ДКСС (а) и ДК (б)

Дополнительно авторы отмечают, что для диагностики работы ЭП моста крана с панелью ДКСС в составе необходимо периодически (хотя бы, раз в месяц) производить с помощью измерительных токовых клещей контроль роторных токов двигателей. Сравнивать результаты измерений необходимо со значениями токов роторов двигателей, полученными после проведения текущего планового ремонта (смены колёс, подшипников, пополнения смазки). Увеличение роторного тока одного из двигателей должно указать механику крановой службы на приближающиеся неполадки с правой или левой стороны моста. Конечно, при этом кран необходимо «прогонять» с контрольным грузом по одному и тому же участку рельсового пути.

При частичной реконструкции крановой панели типа ДК в шкафом исполнении демонтируются из панели 10 электромагнитных приборов (для каждого двигателя: два контактора ускорения и тормозной контактор противовключения и два реле времени), расположенных в нижней части панели.

На освободившейся части размещают три трёхфазные диодные мостовые схемы, выполненные на базе модулей типа МДЗ-580-20 производства ЗАО «Протон-Электротекс», один трёхфазный контактор, позволяющий получить пониженную скорость «дотяжки», и автоматический выключатель для питания ПИТ.

Рядом со шкафом панели ДК на полу моста крана размещают три силовые конденсатора и трёхфазный реактор ПИТ, а также три ящика фехральных сопротивлений. Установленное непосредственно на мосту перечисленное выше электрооборудование закрывается разборными рамками, затянутыми сеткой-рабицей.

Стоимость указанного выше нового электрооборудования составляет: конденсаторы —  $18500 \times 3 = 55500$  руб.; диодные модули —  $5800 \times 9 = 52200$  руб.; реактор трёхфазный — 50000 руб.; трёхфазные контактор и автоматический выключатель — 10000 руб.; ящики сопротивлений — 15000 руб.; провод силовой монтажный (многожильная медь) — 5000 руб.; уголок стальной и сетка-рабица — 3000 руб. Итого по новому оборудованию — 198700 руб. С учётом возврата в эксплуатацию 10-ти единиц демонтированных (уже не выпускающихся промышленностью) электромагнитных приборов стоимость по материалам может составить примерно 180 тыс. руб. Общая стоимость реконструкции (с учётом трудозатрат по монтажу) может составить 300–350 тыс. руб., что должно окупиться затратами на несколько текущих ремонтов по механической части кранового оборудования.

### Библиографический список

1. Гарцман, С. Д. Снижение динамических нагрузок и повышение долговечности мостовых кранов [Текст] / С. Д. Гарцман, А. А. Жуков, З. П. Каретный, А. А. Филатов. — М. : Сталь, 1999. — № 3. — С. 50–52.
2. Калюжный, С. В. Снижение динамических нагрузок мостовых кранов [Текст] / С. В. Калюжный, В. В. Калюжный, И. А. Бондарь, С. С. Луковка, В. К. Роменский // Подъёмные сооружения. Специальная техника. — Одесса, 2013. — № 11. — С. 12–13.
3. Дорофеев, А. А. Разработка и исследование систем электроприводов, обеспечивающих бесперекусное движение мостовых кранов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Алексей Александрович Дорофеев. — Липецк : Липецк. гос. техн. ун-т. — 2010. — 18 с.
4. Герасимьяк, Р. П. Оптимальное управление крановым механизмом передвижения [Текст] / Р. П. Герасимьяк, Л. В. Мельникова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — 1999. — № 1. — С. 87–94.
5. Калюжный, С. В. Токопараметрическое согласование скоростей взаимосвязанных через механическое оборудование многодвигательных электромеханических систем [Текст] / С. В. Калюжный // Электричество. — М. : НИУ «МЭИ». — 2017. — № 6. — С. 59–64.

6. Калюжный, С. В. Энергетическая электроника в свете компенсации или поглощения источником тока источника напряжения в электрических цепях [Текст] / С. В. Калюжный, В. В. Калюжный // Вести высших учебных заведений Черноземья. — Липецк : ЛГТУ. — 2018. — № 4. — С. 18–29.

© Калюжный С. В.  
 © Мокрицкий М. И.  
 © Молочек А. В.  
 © Бабкин В. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,  
 д.т.н., проф., председателем правления Международного  
 консорциума «Энергосбережение» Барским В. А.*

*Статья поступила в редакцию 03.06.19.*

**к.т.н. Калюжный С. В. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР), Мокрицкий М. И., Молочек О. В.,  
 Бабкин В. О. (Філія № 12 ЗАТ «ВНЄШТОРГСЕРВІС» АМК, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВИХ КРАНІВ АЛЧЕВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ**

*Наведено комп'ютерну модель силової схеми струмопараметричного вентиляного перетворювача, призначеного для реконструкції механізму переміщення мостових кранів, з метою узгодження швидкостей обертання приводних двигунів. Даються результати моделювання в порівнянні з існуючою на крані системою привода.*

**Ключові слова:** мостовий кран, механізм переміщення, узгодження швидкостей, кранова панель типу ДК, реконструкція панелі.

**PhD in Engineering Kaluzhniy S. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR), Mokritskiy M. I., Molochek A. V.,  
 Babkin B. A. (Branch № 12 ZAO «VNESHTORGSERVIS» AISW (Closed Joint-Stock Company),  
 Alchevsk, LPR)**

#### **RECONSTRUCTION OF THE ELECTRICAL DRIVE OF MECHANISM OF THE OVERHEAD TRAVELLING CRANES OF ALCHEVSK IRON-AND-STEEL WORKS**

*There has been given the main circuit of computer model of the current-parametric valve converter intended for reconstruction of mechanism of the overhead travelling cranes to coordinate the rate of rotation of drive engines. The simulation results in comparison with the existing crane drive system are presented.*

**Key words:** overhead crane, mechanism of travelling, coordination of rate, crane panel DK, reconstruction panel.

УДК 621.314

к.т.н. Калюжный С. В.,  
Харченко Д. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОРИГИНАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ТОКОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МОСТОВОГО КРАНА

*Описывается оригинальная конструкция силовой части токопараметрического вентильного преобразователя, содержащего два диодных моста и один тиристорный, позволяющая получить высокие массогабаритные показатели. Рекомендуется для питания электроприводов перемещения и подъёма мостовых кранов.*

**Ключевые слова:** вентильный преобразователь, диодные и тиристорные модули, асинхронный двигатель с фазным ротором, система согласованного вращения.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** При конструировании полупроводниковых преобразовательных устройств (ППУ), как известно, необходимо уделять надлежащее внимание всему комплексу технических, эксплуатационных, конструктивно-технологических и экономических требований [1, 2].

К конструктивным требованиям относятся: качество обеспечения основных технических характеристик ППУ, надёжность, простота обслуживания, ремонтпригодность, обеспечение габаритных размеров и массы.

К конструктивно-технологическим требованиям относятся: конструктивная преемственность, технологичность конструкции и защиты от воздействия внешних факторов.

Экономические требования учитывают затраты труда, времени, материальных средств на разработку, изготовление и эксплуатацию ППУ.

Все перечисленные требования тесно взаимосвязаны между собой. При этом в зависимости от назначения и условий эксплуатации преобразователя одни из них имеют важное значение, другие — второстепенное.

**Постановка задачи.** Необходимость разработки новой, компактной и достаточно мощной конструкции преобразователя продиктована тем, что на мосту крана нет больших свободных пространств, особенно при реконструкции кранов, построен-

ных 25–30 лет назад, то есть ещё в советские годы, когда могли строить добротно и надёжно.

Краностроительные заводы металл не сэкономили, поэтому механические узлы кранов сохранили хорошую работоспособность, однако электрооборудование, особенно механизма перемещения моста крана, уже морально и физически устарело. Релейно-контакторные панели в шкафом исполнении типа ДК производства московского завода «Динамо» не выпускаются промышленностью, собственно, и указанного завода уже давно нет.

**Изложение материала и его результаты.** Выпускаемые промышленностью в настоящее время преобразователи, предназначенные для различного применения, не отличаются большим разнообразием конструкций силовых узлов, поэтому авторами разработана и изготовлена собственная оригинальная конструкция преобразователя (рис. 1).

Приведённая конструкция токопараметрического вентильного преобразователя (ТПВП) предназначена для электромеханических систем согласованного вращения, например, механизмов перемещения мостовых кранов, построенных на базе двух асинхронных двигателей с фазным ротором. В состав ТПВП входят: 1 — панель с двумя мостами на диодных модулях МДЗ-580-26-А2; 2 — защитные RC-цепочки; 3 — мост на тиристорных модулях МТЗ-540-18-А1; 4 — па-

Согласно техническим условиям ЮКГИ 2605.001–12 ТУ на «Электропривод согласованного вращения переменного тока ЭСВ-380-xxx» [3], конструктивное исполнение токопараметрического преобразователя (см. рис. 3) представляет собой стойку, сваренную из стального уголкового проката.

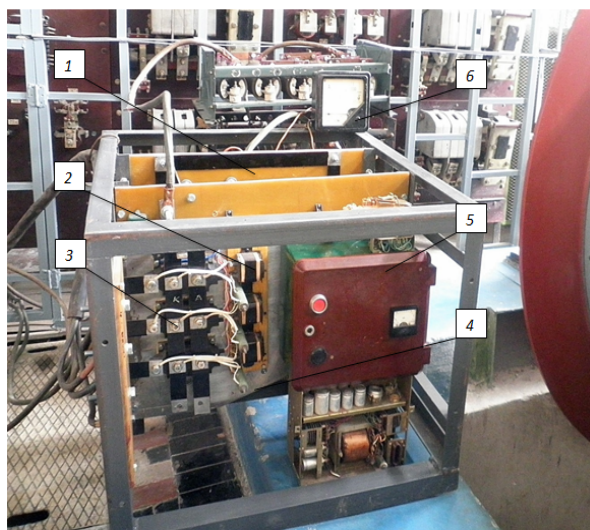


Рисунок 1 Токопараметрический вентильный преобразователь для двухдвигательного электропривода перемещения моста крана

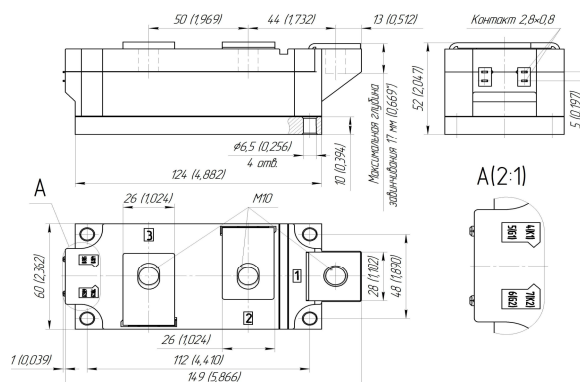


Рисунок 2 Габаритные и установочные  
размеры модулей типа МДЗ-580-26-А2  
и МТЗ-540-18-72-А1

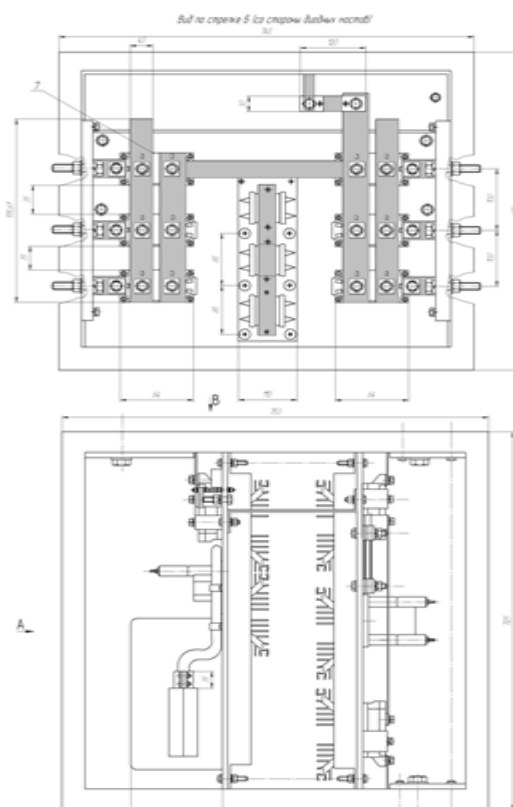


Рисунок 3 Две проекции стойки  
токопараметрического преобразователя

Состоит электропривод, по указанным выше ТУ, из двух совмещаемых по вертикали стоек шкафного исполнения и командоконтроллера, выполненного в виде джойстика и размещаемого в кабине крана. Шкаф № 1 содержит типовую релейно-

контакторную аппаратуру для подключения к сети статорных цепей двигателей с фазным ротором краново-металлургической серии 4МТФ, 380 В, 50 Гц, ПВ — 40 %. В состав шкафа № 2 входит ТПВП для согласования вращения и регулирования скорости двигателей. При реконструкции электроприводов перемещения кранов, работающих с релейно-контакторными панелями типа ДК, шкаф № 1 может не заказываться, если силовые электромагнитные контакторы, подключающие статорные цепи двигателей — линейный (КМЛ), направления вращения (КМВ; КМН) — и контакторы (КМТ) двух тормозов, а также реле максимального тока (КА) и реле нулевое (КН) находятся в удовлетворительном состоянии.

Габаритные размеры стойки преобразователя, как указывалось выше, были приняты для размещения на мосту кранов средней грузоподъёмности. В данной статье произведём расчёт мощности электродвигателей, которые могут быть подключены к двум выходам преобразователя, исходя из максимально допустимой тепловой загрузки диодных и тиристорных модулей.

Наиболее распространённым видом охлаждения является воздушное, естественное, т. к. оно не требует установки вентилятора для принудительного обдува, а это значительно уменьшает габариты при ограниченном пространстве на мосту крана. Используем для крепления модулей алюминиевую пластину, с обратной стороны которой монтируем стандартные цельно-металлические охладители для воздушных систем охлаждения типа О243 из прессованных профилей, материал — алюминиевый сплав АД-31 (см. рис. 4). Оребренные поверхности указанных охладителей увеличивают площадь охлаждения принятого комплексного охладителя в несколько раз по сравнению с площадью теплового контакта отдельного модуля с алюминиевой пластиной охладителя.

Главным эксплуатационным параметром охладителей является установившееся

тепловое сопротивление «контактная поверхность охладителя — охлаждающая среда» (тепловое сопротивление охладителя) —  $R_{thh-cf}$ , поскольку именно оно определяет теплоотводящую способность охладителя.

Расчёт выполняем в соответствии с методикой, изложенной в [4].

На общей алюминиевой пластине установлены три части половинных охладителей типа О243. Определяем температуру контактной поверхности охладителя:

$$T_h = T_c - T_j \cdot \left( \frac{R_{thch}}{R_{thjc}} \right) + T_c \cdot \left( \frac{R_{thch}}{R_{thjc}} \right) =$$

$$= 60 - 150 \cdot \left( \frac{0,02}{0,65} \right) + 60 \cdot \left( \frac{0,02}{0,65} \right) = 57,4^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где  $T_h$  — температура контактной поверхности охладителя,  $^\circ\text{C}$ ;  $R_{thch}$  — установившееся тепловое сопротивление «корпус прибора — контактная поверхность охладителя» (контактное тепловое сопротивление),  $^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $T_j$  — температура структуры прибора,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_c$  — температура корпуса прибора,  $^\circ\text{C}$ .

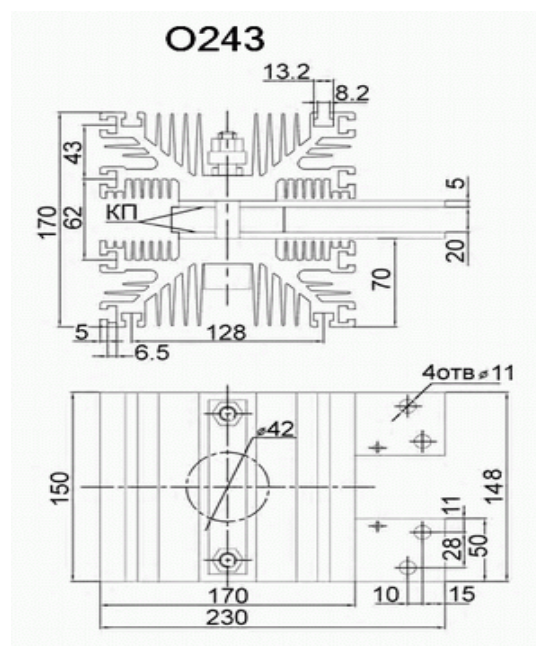


Рисунок 4 Габаритные и установочные размеры охладителя О243



Мощность тепловых потерь силовых полупроводниковых приборов, отводимая тремя охладителями типа О243, определяется следующим образом:

$$P_{AV} = \frac{(T_h - T_{cf})}{R_{thh-cf}} \cdot n = \frac{(57,4 - 40)}{0,42} \cdot 6 = 248 \text{ Вт}, \quad (2)$$

где  $P_{AV}$  — мощность тепловых потерь, отводимая охладителями, Вт;  $T_h$  — температура контактной поверхности охладителя, °С;  $T_{cf}$  — температура охлаждающей среды, °С;  $R_{thh-cf}$  — установившееся тепловое сопротивление «переход – корпус прибора» (внутреннее тепловое сопротивление прибора), °С/Вт;  $n$  — количество силовых модулей.

Для принятого охладителя типа О243 параметр  $R_{thh-cf}$  составляет 0,28 °С/Вт, согласно заводской информации [4]. Используем только одну часть охладителя, поэтому коэффициент  $R_{thh-cf}$  делим на два. В конструкции комплексной системы охлаждения используется три охладителя, в связи с этим в знаменатель формулы (2) подставляем число 0,42 °С/Вт.

Подставляя (1) в (2), получаем окончательное выражение для определения мощности тепловых потерь, отводимых конструкцией комплексного охладителя (см. рис. 5) при естественном охлаждении:

$$P_{AVsum} = \frac{1}{R_{thh-cf}} \cdot \left[ T_c - T_j \cdot \left( \frac{R_{thch}}{R_{thjh}} \right) + T_c \cdot \left( \frac{R_{thch}}{R_{thjc}} \right) - T_{cf} \right] = \frac{1}{0,42} \cdot \left[ 60 - 150 \cdot \left( \frac{0,02}{0,65} \right) + 60 \cdot \left( \frac{0,02}{0,65} \right) - 40 \right] = 41,2 \text{ Вт}, \quad (3)$$

где  $P_{AVsum}$  — суммарная мощность тепловых потерь, отводимая охладителем, Вт;

$T_{cf}$  — температура охлаждающей среды, °С;  $R_{thjc}$  — установившееся тепловое сопротивление «переход – корпус прибора» (внутреннее тепловое сопротивление прибора), °С/Вт.

Величины  $R_{thjc}$ ,  $R_{thch}$ ,  $T_j$ ,  $T_c$  являются нормативно-эксплуатационными параметрами силовых полупроводниковых приборов и приводятся в технико-информационных документах. Температура окружающей среды  $T_{cf}$  является эксплуатационным параметром и обычно задается 40 °С, поэтому, исходя из (3), величина теплового сопротивления охладителя является определяющим параметром процесса отвода мощности тепловых потерь от СПП к охладителю и далее в окружающее пространство.

Конструкция комплексной системы охлаждения представлена на рисунке 5 и состоит из: 1 — диодный модуль типа МД3-580-26-А2 или МТ3-540-18-72-А1; 2 — половина охладителя типа О243; 3 — общая панель комплексной системы охлаждения (листовой алюминий толщиной 12 мм).

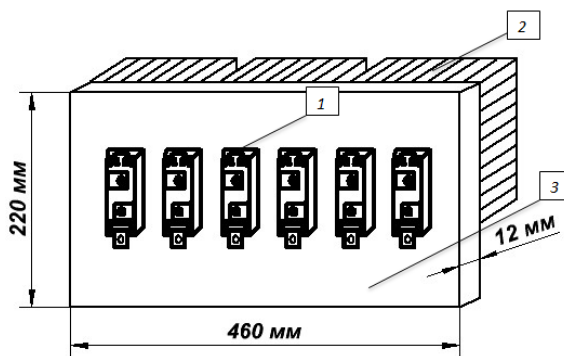


Рисунок 5 Конструкция комплексной системы охлаждения ТПВП

Известно, что массогабаритный показатель преобразователя любого типа характеризует, в определённой мере, эксплуатационные свойства и степень технического совершенства.

Объём ТПВП, определяющий его габарит, находим следующим образом:



$$V = a \cdot b \cdot h = 0,72 \cdot 0,6 \cdot 0,75 = 0,32 \text{ м}^3, \quad (4)$$

где  $V$  — объём;  $a, b, h$  — соответственно длина, ширина, высота корпуса конструкции преобразователя, м.

Необходимая мощность потерь, которую должна рассеять система охлаждения при номинальной нагрузке преобразователя, может быть определена по данным информационного листа на модули МДх-580-26-А2 (сертификат № E255404 фирмы «Протон-Электротекс»):

$$P_{\text{рас}} = \left( \frac{I_{FAV}}{3} \right)^2 \cdot R_T \cdot n \cdot q = \left( \frac{580}{3} \right)^2 \cdot 0,00035 \cdot 6 \cdot 2 = 157 \text{ Вт}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{рас}}$  — мощность потерь в модулях при номинальной нагрузке, Вт;  $I_{FAV}$  — предельно допустимый средний прямой ток силового п/п прибора в составе модуля, А;  $R_T$  — максимальное динамическое сопротивление, Ом;  $n$  — количество модулей на панели охлаждения;  $q$  — количество силовых вентилях в модуле.

Сравнивая (3) и (5), видим, что принятый комплексный охладитель при естественном охлаждении сможет обеспечить

отвод лишь 25 % тепловых потерь в преобразователе при номинальном токе в вентилях, составляющем 580 А. Следовательно, при линейном напряжении сети 380 В и принятых модульных СПП мощность ТПВП не может превышать 100 кВт для случая длительного режима эксплуатации.

При массе преобразователя 60 кг и его объёме 0,32 м<sup>3</sup> массогабаритный показатель на единицу мощности составляет

$$60 \cdot 0,32 / 100 = 0,192 \text{ кг} \cdot \text{м}^3 / \text{кВт}.$$

Стандартные серийные преобразователи типа АТЕРЗ, ТПЧ, ВУТГД имеют аналогичный показатель в диапазоне от единиц до нескольких десятков [5].

**Вывод.** Рассмотренный ТПВП из-за применённой оригинальной конструкции комплексного охладителя для диодных и тиристорных модулей имеет массогабаритный показатель, рассчитанный на киловатт выходной мощности преобразователя, на несколько порядков улучшенный по сравнению с серийно выпускаемыми преобразователями. Компактность конструкции преобразователя позволяет свободно размещать его (при реконструкции крана) не только на мосту для согласования скоростей приводных двигателей, но также и на тележке с целью улучшения работы механизма подъёма.

### Библиографический список

1. Гельман, М. В. Преобразовательная техника [Текст] : учебное пособие / М. В. Гельман, М. М. Дубкин, К. А. Преображенский. — Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2009. — 425 с.
2. Электротехнический справочник [Текст]. В 2-х томах / под ред. М. Г. Чиликина. — М. : Энергия, 1971. — 910 с. : ил.
3. Технические условия ЮКГИ 2605.001–12 ТУ. Электропривод согласованного вращения переменного тока ЭСВ–380-xxx [Текст] / ДонГТУ. — Алчевск, 2012. — 15 с.
4. Каликанов, В. М. Воздушное охлаждение силовых полупроводниковых приборов [Текст] / В. М. Каликанов, С. А. Панфилов, Ю. А. Фомин, ГОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева» ; В. А. Мартыненко, С. И. Толкачев, Р. Ш. Биктиев, г. Саранск ОАО «Электровыпрямитель» // Электроника и информационные технологии : электронное научное издание [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/Air\\_cooling\\_power\\_device.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2009-3/pdf/Air_cooling_power_device.pdf).
5. Справочник по преобразовательной технике [Текст] / под ред. И. М. Чиженко. — К. : Техніка, 1978. — 447 с. : ил.

© Калюжный С. В.

© Харченко Д. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,  
гл. механиком Филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» АМК Молочек А. В.*

*Статья поступила в редакцию 03.06.19.*

**к.т.н. Калюжний С. В., Харченко Д. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

**ОРИГІНАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ СТРУМОПАРАМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА  
ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МОСТОВОГО КРАНА**

*Описується оригінальна конструкція силової частини струмопараметричного вентильного перетворювача, що містить два діодних моста і один тиристорний, яка дозволяє отримати високі вагогабаритні показники. Рекомендується для живлення електроприводів переміщення і підйому мостових кранів.*

**Ключові слова:** *вентильний перетворювач, діодні та тиристорні модулі, асинхронний двигун з фазним ротором, система узгодженого обертання.*

**PhD in Engineering Kaluzhniy S. V., Kharchenko D. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**ORIGINAL DESIGN OF CURRENT-PARAMETRIC CONVERTER FOR ELECTRICAL  
DRIVE OF THE OVERHEAD CRANE**

*The original design of power part of the current-parametric valve converter containing two diode bridges and one silicon-controlled rectifier is described, which allows to obtain high mass and dimensions parameters. It is recommended for power supply of electrical drives of movement and lifting of the overhead cranes.*

**Key words:** *valve converter, diode and silicon-controlled rectifier units, wound-rotor induction motor, coordinated rotation system.*

**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](mailto: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 в формате, полностью совместимом с Word 97–2003**: 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 вверх или вниз). 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 вверх или вниз). 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>Касьян Н. Н., Петренко Ю. А., Касьяненко А. Л.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЧНОГО СЛОЯ В СОСТАВЕ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ НА ЕЁ УСТОЙЧИВОСТЬ .....	5
<i>Бабиюк Г. В., Доценко О. Г.</i> ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МАССИВА ОБРУШЕННЫХ ПОРОД .....	12
<i>Леонов А. А.</i> ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ ПОДАТЛИВОСТИ РАМНОЙ КРЕПИ ИЗ СПЕЦПРОФИЛЯ .....	19
<i>Хоружая Н. В., Доценко О. Г.</i> СРАВНЕНИЕ МЕТОДИКИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСЕДАНИЯМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ТРАДИЦИОННОЙ И КОРОТКОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ .....	28

**МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

<i>Куберский С. В., Проценко М. Ю., Воронько М. И., Белан И. А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДУГОВОГО ГЛУБИННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ИЗ ПЕСКА В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ РАСПЛАВЫ .....	37
<i>Русанов И. Ф., Куберский С. В., Лупанов Д. В., Кумпан В. Н.</i> ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАТА У СТЕНОК СПЕКАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ В СЛОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗА .....	46

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

<i>Дрозд Г. Я., Хвортова М. Ю.</i> К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ .....	55
<i>Вишторский Е. М., Назарова А. В., Сороканич С. В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕНОБЕТОНА НОРМАЛЬНОГО ТВЕРДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ТРЕХФАКТОРНОГО ПЛАНИРОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА .....	71

**МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

<i>Калюжный С. В., Мокрицкий М. И., Молочек А. В., Бабкин В. А.</i> РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВЫХ КРАНОВ АЛЧЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА .....	81
<i>Калюжный С. В., Харченко Д. А.</i> ОРИГИНАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ТОКОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МОСТОВОГО КРАНА .....	88



**ЗМІСТ****НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ**

<i>Касьян М. М., Петренко Ю. А., Касьяненко А. Л.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІЦНОГО ШАРУ У СКЛАДІ ПОРІД ПІДОШВИ ВИРОБКИ НА ЇЇ СТІЙКІСТЬ .....	5
<i>Бабишук Г. В., Доценко О. Г.</i> ШАХТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАСИВУ ОБРУШЕНИХ ПОРІД .....	12
<i>Леонов А. О.</i> ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВУЗЛІВ ПІДДАТЛИВОСТІ РАМНОГО КРІПЛЕННЯ ІЗ СПЕЦПРОФІЛЮ .....	19
<i>Хоружа Н. В., Доценко О. Г.</i> ПОРІВНЯННЯ МЕТОДИКИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ОСІДАННЯМИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРАДИЦІЙНОЇ ТА КОРОТКОЇ СПОСТЕРЕЖНИХ СТАНЦІЙ .....	28

**МЕТАЛУРГІЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

<i>Куберський С. В., Проценко М. Ю., Воронько М. І., Белан І. О.</i> ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ДУГОВОГО ГЛИБИННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДЛЯ ВИТЯГАННЯ КРЕМНІЮ З ПІСКУ В ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ РОЗПЛАВИ .....	37
<i>Русанов І. Ф., Куберський С. В., Лупанов Д. В., Кумпан В. М.</i> ОСОБЛИВОСТІ СПІКАННЯ АГЛОМЕРАТУ БЛЯ СТІНОК СПІКАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ВВЕДЕННІ В ШАР МЕТАЛЕВОГО ЗАЛІЗА .....	46

**БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА**

<i>Дрозд Г. Я., Хвортова М. Ю.</i> ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ УРАЖАЮЧИХ ФАКТОРІВ .....	55
<i>Вишторський Є. М., Назарова А. В., Сороканіч С. В.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІНОБЕТОНА НОРМАЛЬНОГО ТВЕРДІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО ТРЬОХФАКТОРНОГО ПЛАНОВАНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ .....	71

**МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАШИНОЗНАВСТВО**

<i>Калюжний С. В., Мокріцький М. І., Молочек О. В., Бабкін В. О.</i> РЕКОНСТРУКЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТОВИХ КРАНІВ АЛЧЕВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ .....	81
<i>Калюжний С. В., Харченко Д. О.</i> ОРИГІНАЛЬНА КОНСТРУКЦІЯ СТРУМОПАРАМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МОСТОВОГО КРАНА .....	88

## CONTENT

### GEOSCIENCES

<i>Kasyan N. N., Petrenko Yu. A., Kasyanenko A. L.</i> RESEARCH OF THE INFLUENCE OF A HARD LAYER IN FLOOR ROCKS COMPOSITION ON ITS RESISTANCE .....	5
<i>Babiyuk G. V., Dotsenko O. G.</i> UNDERGROUND INVESTIGATIONS OF STRUCTURAL AND MECHANICAL FEATURES OF THE ROCK MASS CAVING .....	12
<i>Leonov A. A.</i> LABORATORY STUDIES OF YIELDING JOINTS OF SPECIAL PROFILE FRAME SUPPORT ...	19
<i>Khoruzhaia N. V., Dotsenko O. G.</i> COMPARISON OF THE OBSERVING TECHNIQUE OF THE EARTH'S CRUST SUBSIDENCE USING THE TRADITIONAL AND SHORT OBSERVATION STATION .....	28

### METALLURGY AND MATERIAL SCIENCES

<i>Kuberskiy S. V., Protsenko M. Yu., Voron'ko M. I., Belan I. A.</i> USING THE METHOD OF ARC DEPTH REDUCTION TO EXTRACT SILICON FROM SAND INTO IRON-CARBON MELTS .....	37
<i>Rusanov I. F., Kuberskiy S. V., Lupanov D. V., Kumpan V. N.</i> FEATURES OF SINTERING AT THE WALLS OF SINTERING UNITS WHILE INTRODUCING INTO THE LAYER OF METALLIC IRON .....	46

### CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

<i>Drozd G. Ya., Khvorotova M. Yu.</i> MATTER OF ASSESSMENT THE TECHNICAL STATE OF CONSTRUCTION SITES UNDER DAMAGE EFFECTS .....	55
<i>Vishtorsky E. M., Nazarova A. V., Sorokanich S. V.</i> OPTIMIZATION OF PRESCRIPTION-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE FOAM CONCRETE OF NORMAL HARDENING WITH THE USE OF MATHEMATICAL THREE- FACTOR PLANNED EXPERIMENT .....	71

### MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

<i>Kaluzhniy S. V., Mokritskiy M. I., Molochek A. V., Babkin B. A.</i> RECONSTRUCTION OF THE ELECTRICAL DRIVE OF MECHANISM OF THE OVERHEAD TRAVELLING CRANES OF ALCHEVSK IRON-AND-STEEL WORKS .....	81
<i>Kaluzhniy S. V., Kharchenko D. A.</i> ORIGINAL DESIGN OF CURRENT-PARAMETRIC CONVERTER FOR ELECTRICAL DRIVE OF THE OVERHEAD CRANE .....	88

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 14 (57) 2019

**Засновник:**  
**Донбаський державний технічний  
університет**

*Свідоцтво Міністерства інформації,  
друку і масових комунікацій ЛНР  
про державну реєстрацію засобу масової  
інформації МІ-СГР ПП 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  
ДОЗ ВПО ЛНР «ДонДТУ»  
(Протокол № 11 від 21.06.2019)*

*Включений до наукометричної бази даних РІНЦ*

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Ум. друк. арк. 12,6.  
Зам. № 207.

Наклад 100 пр.

Видавництво не несе відповідальності за зміст  
матеріалу, наданого автором до друку.

Адреса редакції, видавця  
та виготовлювача:

ДОЗ ВПО ЛНР  
«Донбаський державний технічний університет»  
пр. Леніна, 16, м. Алчевськ, ЛНР, 94204.

E-mail: [info@dstu.education](mailto: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**

Куберський С. В. — к.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.

Должиков В. В. — к.т.н., доц.

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.*

© ДОЗ ВПО ЛНР «ДонДТУ», 2019

© Чернишова Н. В., художнє  
оформлення обкладинки, 2019

**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 14 (57) 2019

**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 № 11 dated 21.06.2019)*

*Added to scientometrical data base of RSCI*

Format 60×84%.  
Conventional printed sheet 12,6.  
Order № 207.

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](mailto: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**

Kuberskyi S. V. — PhD in Engineering, 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.

Dolzhikov V. V. — PhD in Engineering

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.*