

ДОНБАССКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*Выпуск 4 (47) 2016*



СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**Сборник  
научных трудов  
Донбасского государственного технического  
университета**

Сборник  
Выходит 1–4 раза в год  
Основан в июне 1999 г.  
Выпуск 4 (47) 2016

**Збірник наукових праць  
Донбаського державного технічного університету**

Збірник  
Виходить 1–4 рази на рік  
Заснований у червні 1999 р.  
Випуск 4 (47) 2016

**Collection of Scientific Papers of DonSTU**

Collection  
Publishing 1–4 times a year  
Founded in June 1999  
Issue 4 (47) 2016

Алчевск  
2016

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 4 (47) 2016

**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*

*Рекомендовано ученым советом  
ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ»  
(Протокол № 4 от 30.12.2016)*

*Включен в наукометрическую базу  
данных РИНЦ*

---

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Усл. печат. л. 26  
Заказ № 1  
Тираж 100 экз.

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

Адрес редакции, издателя и основателя:  
ГОУВПО 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**

Новохатский А. М. — д.т.н., проф.

**Редакционная коллегия:**

Литвинский Г. Г. — д.т.н., проф.

Финкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнеев С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. А. — к.т.н.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницкий В. Н. — к.т.н., проф.

Зелинский А. Н. — к.т.н.

Куберский С. В. — к.т.н., проф.

Денищенко П. Н. — к.т.н.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух Н. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н.

Псюк В. В. — к.т.н.

Коваленко Н. В. — д.э.н., проф.

Гришко Н. В. — д.э.н., проф.

Бизянов Е. Е. — д.э.н., проф.

Скомская С. А. — секретарь редакционной коллегии.

Для научных сотрудников, аспирантов,  
студентов высших учебных заведений.

**Язык издания:**

русский, украинский и английский

Исмаилова Л. М. — корректор

© ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ», 2016  
© Чернышова Н. В., художественное  
оформление обложки, 2016

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

---

---

**НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ**

---

---

**GEOSCIENCES**



УДК 552.68.552.123

д.т.н. Клишин Н. К.,

к.т.н. Касьян С. И.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, kasyan\_dmti@mail.ru),

Чепурной Д. С.

(Филиал «Шахта «Никанор-Новая» ГУП ЛНР «Центруголь» г. Зоринск, ЛНР)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТРЕЩИНОВАТЫХ КРОВЕЛЬ ПРИМЕНительно К ИХ УПРОЧНЕНИЮ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ ШАХТ

*Предложенный бесшпуровой способ упрочнения кровли в лавах на основании изучения свойств кровли: трещиноватости, проницаемости пород, морфологии поверхности трещин. Дано обоснование и исследованы параметры бесшпурового способа. Исследованы свойства трещиноватых пород и прохождение сейсмоакустических волн.*

**Ключевые слова:** трещиноватость кровли, распространение сейсмоакустических волн, параметры упрочнения.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

С 1960 г. поставлена задача создать комплексную механизированную безлюдную технологию выемки угля в лавах. Поэтому разработка бесшпурового способа упрочнения кровли основана на изучении трещиноватых кровель. Упрочнение массива пород в шахтах началось в 90-х годах прошлого столетия. Были разработаны способы (упрочнение нагнетанием скрепляющих составов и химическое анкерование), составы для упрочнения и оборудования [1, 2, 3]. Эти способы трудоемкие, так как бурение шпуров по каждой технологии составляет 25 % от общего времени.

Необходимо изучить свойства разрушенных пород и на их основе создать безлюдную выемку угля, для чего нужно проанализировать трещиноватость (шт/м<sup>2</sup>), анизотропию, состав и прочность или адгезию образцов после упрочнения.

**Цель исследования** – обосновать бесшпуровую технологию упрочнения породы трещиноватых кровель.

Ниже приведены основные результаты исследования трещиноватых пород.

Трещиноватость пород изучена на обнажениях пород, на сопряжении лав с выработками, на протяженных участках лав. Для изучения влияния геологических факторов и

частоты трещинообразования на сопряжениях лав с выработками проведены исследования в широком диапазоне изменения глубины, мощности пласта и неустойчивой кровли, а также ее предел прочности. Данные исследований обработаны, и получены уравнения множественных и парных регрессий. В результате исследований парных регрессий геологических факторов на частоту трещинообразования установлена слабая теснота связи при оценке коэффициентов корреляции. После этого анализировались зависимости от нескольких факторов и по результатам чего построены уравнения множественных регрессий:

- количество трещин на 1 м параллельно забою лавы

$$n_1 = -9,91 + 7,11m + 0,01H - 1,08h_n + 18,34\bar{\sigma}_p^{-1} + 0,8h_c^{-1}, \text{ шт/м; (1)}$$

$$R = 0,69; \quad F = 6,62; \quad \alpha = 0,17 \cdot 10^{-3};$$

- количество трещин на 1 м перпендикулярно забою лавы

$$n_2 = -8,81 + 7,1m + 0,02H - 0,74h_n + 3,341\bar{\sigma}_p^{-1} + 0,6h_c^{-1}, \text{ шт/м; (2)}$$

$$R = 0,65; \quad F = 5,28; \quad \alpha = 0,95 \cdot 10^{-3},$$

где  $n_1$  – количество трещин на 1 м параллельно забою лавы, шт/м;  $n_2$  – количество трещин на 1 м перпендикулярно забою ла-

вы, шт/м;  $m$  – мощность пласта, м;  $H$  – глубина разработки, м;  $h_n$  – мощность непосредственной кровли, м;  $\sigma_p$  – предел прочности на разрыв нижнего слоя непосредственной кровли, МПа;  $h_c$  – мощность слоя упрочняемых пород, м;  $R$  – коэффициент корреляции;  $F$  – значение критерия Фишера;  $\alpha$  – уровень надёжности критерия Фишера.

Всего проработано 23 модели с 54 участками условий. На основании обработки результатов моделирования на всех моделях получено уравнение множественной регрессии для определения реакции скрепляющего слоя (в размерностях натуры):

$$R_c = 9,7 - 1,45r^{-1} + 0,031(\beta + 0,017)^{-1} - 0,29a^{-1} + 1,7h^{-1} - 8,3\varphi^{-1}, H / \text{мм}, \quad (3)$$

где  $r$  – ширина захвата комбайна, м;  $\beta$  – угол встречи трещин с лавой, рад;  $a$  – расстояние между трещинами, м;  $h$  – мощность склонных к обрушению пород, м;  $\varphi$  – угол наклона трещин к напластованию, рад.

**Постановка задачи.** Детальное изучение свойств трещиноватых пород для достижения поставленной цели.

**Изложение материала и его результаты.** Донбасс – важнейший угольный бассейн страны, один из крупнейших промышленных центров, который находится на юге европейской части, в пределах Донецкой и Луганской областей [4].

Донецкий угольный бассейн каменноугольного возраста. В основании угленосных отложений залегают докембрийские изверженные и метаморфические породы, а также осадочные образования девона. Последующая толща представлена отложениями карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена, неогена и четвертичным покровом.

В структурном отношении Донбасс представляет крупный синклиорий, вытянутый почти в широтном направлении и осложненный системой складчатых структур.

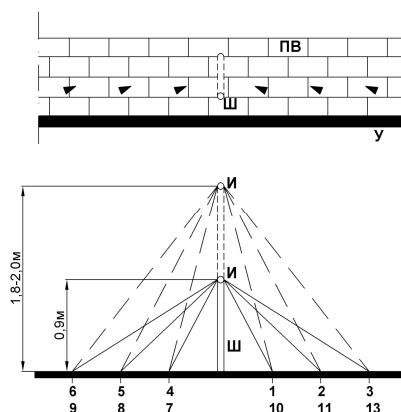
В кровле пластов залегают аргиллиты, иногда – алевролиты и песчаники, редко – известняки. Почва пластов угля представле-

на аргиллитами или алевролитами, многие угольные пласты имеют простое строение.

Бассейн разделен на геолого-промышленные районы. Выделение районов обосновано геологическими, географическими, экономическими и историческими особенностями.

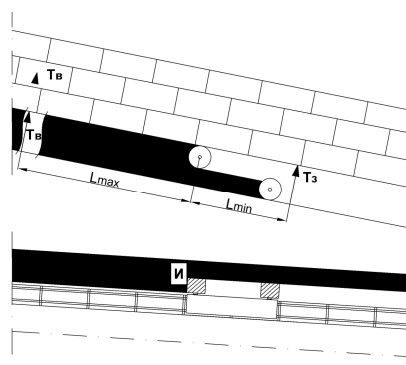
Во многих случаях шахтные поля граничат одно с другим, поэтому шахты разрабатываются с одинаковыми условиями, и полученные результаты трещиноватости по шахте «Никанор-Новая» можно распространить и на другие условия.

Сейсмоакустические свойства изучены по схемам (рис. 1 – 2).



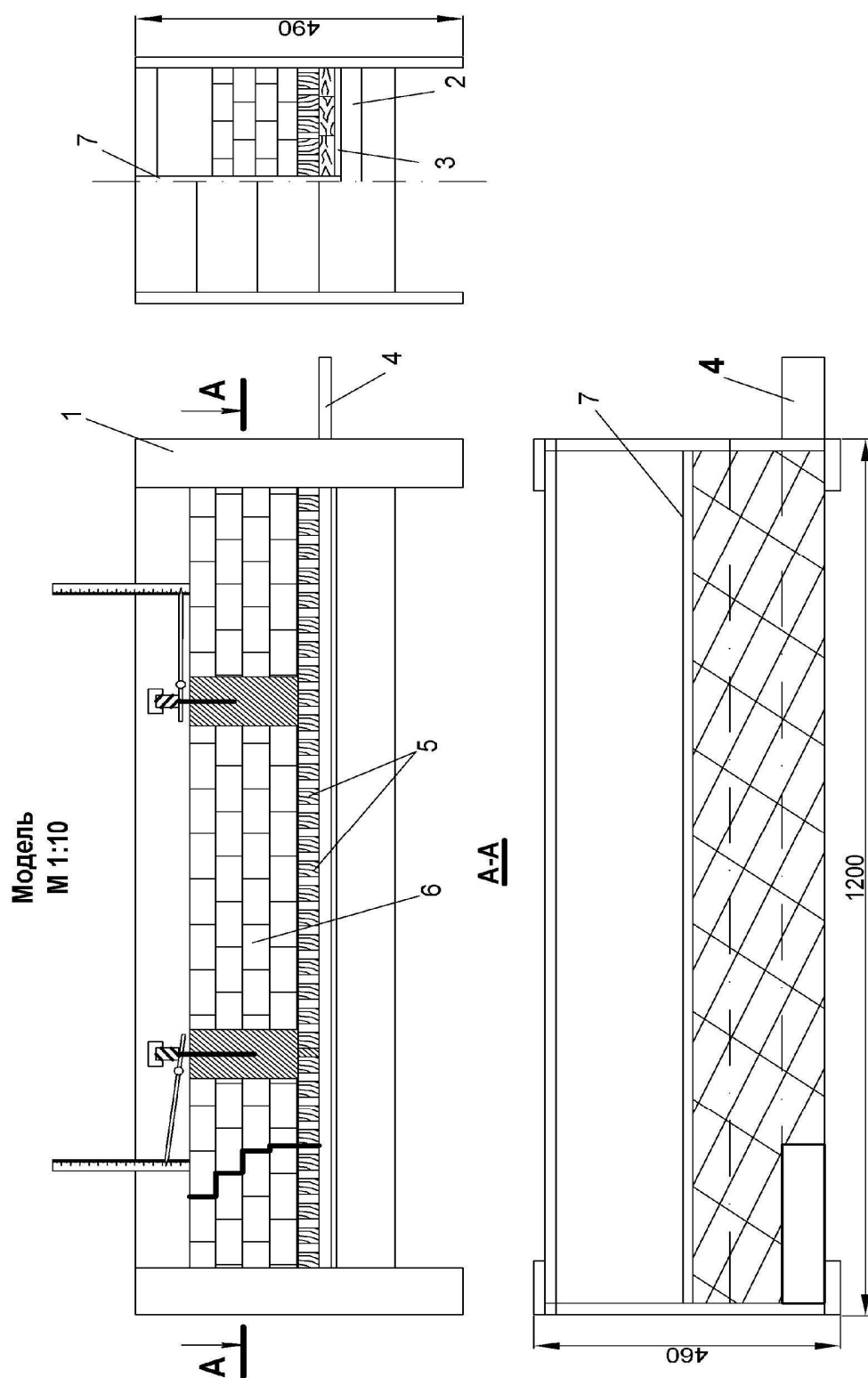
Обозначения: И – источник сигнала; У – уголь; ПВ – поверхность вывала; 1-12 – очередность замеров

Рисунок 1 Схема сейсмоакустического зондирования кровли в лаве



Обозначения: И – источник сигнала; Тв – передний репер; Тз – задний репер

Рисунок 2 Схема сейсмоакустического профилирования кровли в лаве



Обозначения: 1 – опора; 2 – поперечный брус; 3 – фанера; 4 – выдвижная рейка;  
5 – деревянные призмы; 6 – нарушенный массив; 7 – перегородка

Рисунок 3 Конструкция стенда для моделирования эквивалентными материалами

В лаборатории создана трещиноватость пород и изучено обрушение кровли после выемки определенного объема угля (рис. 3).

Сущность способа: обнажив поверхность, на нее набрасывают скрепляющий состав, после затвердевания которого создается твердый прочный слой.

Одним из основных направлений развития подземной добычи угля является переход на малооперационные технологии, комплексную механизацию и автоматизацию производственных процессов. При создании угледобывающих агрегатов, работающих без постоянного присутствия людей в забое, решаются задачи дистанционного автоматического контроля и управления всеми силовыми установками, местоположением выемочной машины и исполнительного органа по гипсометрии, параметрами и передвижением секций механизированной крепи, прямолинейностью агрегата.

Донбасским горно-металлургическим институтом исследованы закономерности фильтрационных, сейсмоакустических, структурно-механических свойств нарушенной кровли в очистных забоях для разработки системы контроля состояния и параметров технологии упрочнения кровли нагнетанием составов.

Предложен бесшпуровой способ упрочнения кровли в лаве [5], сущность которого заключается в следующем. При отработке угольного пласта после выемки угля в лаве происходит обрушение кровли у угольного забоя (рис. 4). На разлом этих пород сплошную наносится синтетический клей, который после отверждения образует скрепляющий слой 1; затем клей наносится на обнажаемую при выемке угля поверхность кровли для создания защитного слоя 2. Скрепляющий и защитный слои предотвращают вывалы породы в призабойное пространство лавы.

Толщина скрепляющего слоя зависит от прочности отвержденного состава. Наиболее прочными являются составы на основе эпоксидных смол, которые нашли приме-

нение для гидроизоляции выработок, но не применяются для упрочнения пород набрызгом из-за большой вязкости, стоимости и токсичности.

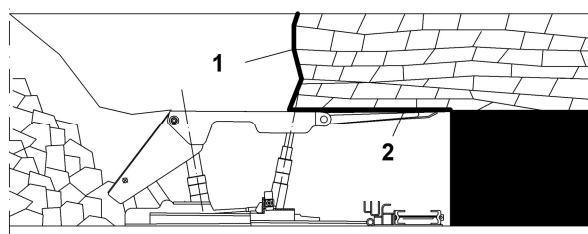


Рисунок 4 Схема бесшпурового упрочнения пород

В результате анализа геологической документации по 18 разрывным нарушениям с амплитудой от 0,3 до 10 м установлено, что в лежащем крыле на расстоянии 25–10 м наблюдается тенденция к значительному росту интенсивности трещиноватости, а в непосредственной близости (5–7 м) — мертвая зона, где интенсивность трещиноватости равна нормальному фону; в висячем крыле интенсивность трещиноватости наблюдается на расстоянии 20–60 м от разрыва [6].

Сигнал от работающего шнека комбайна распространяется в кровле на расстояние от 6 до 12 м; по мере удаления комбайна от приемника волн интенсивность сейсмоакустических волн уменьшается. На всех участках с устойчивой кровлей показания прибора ЛС-01 были в 1,5–2,0 раза больше, чем на участках нарушенной неустойчивой кровли, которая обрушалась после выемки угля.

Сущность моделирования: участок лавы длиной 12 м моделируется в натуре в месте вывала трещиноватой неустойчивой кровли, часть которого упрочняется бесшпуровым способом путём создания на поверхности вывала скрепляющего слоя; во время выемки угля трещиноватая неустойчивая кровля обрушается, а упрочненная зависает и не обрушается; измеряется усилие, необходимое для удержания кровли от обрушения, возникающее в скрепляющем слое при различных параметрах

трещиноватости, высоте обрушающихся пород, ширине захвата комбайна и др.

Состав эквивалентного материала, массовых частей: песок – 75; смола марки МФФ-М – 18; 6% раствор щавелевой кислоты – 7; объемная масса эквивалентного материала 1550 кг/м<sup>3</sup>.

При изготовлении и отработке моделей соблюдаются требования геометрического, кинематического и динамического подобия. Масштаб моделирования 1:10. Для соблюдения граничных условий протяженного вывала кровли вдоль лавы связь материала с торцевой стенкой модели разрушается перед началом отработки модели. Соблюдены граничные условия сверху и со стороны массива: над склонными к обрушению породами находится необрушающийся слой кровли; с задней стороны модели – массив пород. Начальные условия выполняются путем создания трещиноватости, слоистости массива, обеспечивающих обрушение пород под действием собственного веса на неупрочненном участке после выемки угля.

Технология изготовления и отработки модели следующая. На основание стенда укладываются рейки, ширина которых равна ширине захвата комбайна (0,08, 0,06, 0,04 м), а поверх реек – такой же ширины призмы, имитирующие угольный пласт. Здесь и далее приведены размеры модели. На призмы насыпается слой песка толщиной от 1 до 3 мм. С фасада модели устанавливается опалубка и закрепляется защелками, а у задней продольной перегородки по всей её длине укладываются деревянные прокладки толщиной 5 мм.

Песок, смола, раствор кислоты тщательно перемешиваются в течение 60–120 с до получения однородной массы. Эквивалентный материал высыпается за опалубку, разравнивается, слегка уплотняется, присыпается песком, проглаживается катком через картон, уплотняется до получения ровной поверхности и равномерной плотности слоя. После этого извлекаются деревянные прокладки у задней перегородки стенда, в результате чего образуется

компенсирующая полость. Далее слой разделяется на отдельные блоки шириной 0,08 м поперек модели и длиной 0,1 м вдоль её продольной стороны. Блоки раздвигаются для образования компенсирующих полостей, которые необходимы для облегчения нанесения трещин и для предотвращения их смыкания.

Первоначально наносится вспомогательная система трещин. Шаблоны имеют прорезы через 0,01 м, расположенные под заданными углами. Шаблон накладывается на поверхность слоя, через прорезы вставляются металлические ножи, начиная от середины блока к торцу, т. е. в сторону компенсирующей щели. После установки от 4 до 5 ножей они извлекаются, но в обратном порядке. Этим предотвращается закрытие трещин при их нанесении. Затем шаблон переставляется на другой участок поверхности слоя.

Основная система трещин наносится по описанной выше технологии после нанесения трещин вспомогательной системы. Трещины этих систем взаимно перпендикулярны. Следующий слой закатывается через сутки. Чтобы не произошло сцепление слоя, перед закаткой на отвержденный слой насыпается слой песка толщиной 2–3 мм. Самый верхний слой трещинами не разрушается, модель не пригружается, так как моделируется небольшая толща пород, обрушающихся под действием собственного веса после выемки угля комбайном в лаве.

Разрез перпендикулярен протяженному участку лавы после выемки угля (породы в прямоугольнике) на ширину  $r$ , сохраняется связь с необрушающимся слоем.

Рассматриваются неустойчивые породы, которые обрушаются при выемке угля, если они предварительно не упрочнены.

Для комбинированного упрочнения пород на поверхности создается скрепляющий слой, который прикрепляется к необрушающимся породам.

При разработке быстроотверждающихся составов для набрызга на поверхность предъявляются несколько требований, а

именно: не стекать с поверхности пород и быстро отверждаться. В ДГМИ исследованы составы на основе карбамидных, полиуретановых, эпоксидных смол; установлено, что применяемые на практике для нагнетания полиуретановые и карбамидные составы не отвечают приведенным выше требованиям. На основании патентного поиска быстроотверждающихся смол установлена возможность модификации карбамидных составов поливинилацетатной дисперсией для получения прочного быстроотверждающегося состава.

Мочевинно-формальдегидная фурфуролом модифицированная смола МФФ-М марки Б является основой полимерной композиции, содержащей также поливинилацетатную дисперсию ДФ-48/5с, служащую для растворения щавелевой кислоты. Диапазон содержания отдельных компонентов, массовых частей: МФФ-М – 28...70; ПВА дисперсия – 28...70; щавелевая кислота – 1,8...6,2. По отношению к смоле содержание кислоты в композиции от 2,85 до 14,3 %.

После обработки данных испытаний на растяжение 116-ти отвержденных образцов получено уравнение множественной регрессии:

$$\sigma_p = 015 + 0,00035x_c^2 + 1,32x_k, \text{ МПа}, \quad (5)$$

где  $\sigma_p$  – предел прочности на растяже-

ние, МПа;  $x_c$  – содержание смолы, %;  $x_k$  – содержание кислоты, %.

Коэффициент множественной регрессии 0,46, его надежность 2,7. Согласно уравнению наибольшая прочность образца при содержании смолы 70 %, кислоты 2 %, т. е. при граничных значениях содержания смолы и кислоты. Через сутки предел прочности на растяжение составил от 0,9 до 3,7 МПа.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

В результате исследований обоснована технология бесшпурового упрочнения пород кровли на моделях из эквивалентных материалов и доказана возможность ее осуществления. Фактором, влияющим на количество трещин, является предел прочности на разрыв нижнего слоя непосредственной кровли, при уменьшении которого ниже 2 МПа наблюдается резкое увеличение количества трещин на 1 м и, как следствие, разрушение монолитности породы и вывалообразование. Установлено, что толщина упрочнения слоя 0,5–2,0 мм и больше, а время отвердевания скрепляющего состава до 30 секунд.

Направление дальнейших исследований – создание автоматизированной безлюдной технологии во времени с упрочнением неустойчивых пород набрызгом скрепляющих составов.

#### **Библиографический список**

1. Химический способ упрочнения пород в очистных забоях угольных шахт [Текст] / И. Т. Бутенко и др. — Киев : Техника, 1978. — 69 с.
2. Сальников, В. К. Опыт работы угольных шахт Украины по упрочнению неустойчивых горных пород: Экспересс-информация [Текст] / В. К. Сальников, В. В. Леонов. // ЦНИЭИуголь. — М. : Недра, 1982. — 21 с.
3. Васильев, В. В. Физико-химическое укрепление неустойчивых горных пород [Текст] / В. В. Васильев, В. К. Сальников, Л. П. Томашевский // Уголь. — № 1. — 1983. — С. 25–27.
4. Шахты Донецкого бассейна [Текст] / Под ред. А. П. Судоплатова, А. М. Курносова. — М. : Недра, 1965. — 611 с.
5. А.с. СССР 810971, М.Кл. 3Е 21С 41/04. Способ поддержания кровли / Н. К. Клишин, А. А. Ефименко, А. А. Пятаченко, Ю. Ф. Савенко. — № 2763100/22-03; заявл. 04.05.79; опубл. 07.03.81, Бюл. № 9. — 3 с.: ил.
6. Крамаренко, А. И. Особенности проявлений разрывных нарушений и методика изучения [Текст] / А. И. Крамаренко // Уголь Украины. — 1979. — № 10. — С. 55–56.

© Клишин Н. К.

© Касьян С. И.

© Чепурной Д. С.

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

*Статья поступила в редакцию 18.11.16.*

**д.т.н., проф. Клішин М. К., к.т.н. Касьян С. І., Чепурний Д. С. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)  
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРІЩИНУВАТИХ ПОКРІВЕЛЬ СТОСОВНО ДО ЇХ  
ЗМІЦНЕННЯ В ОЧИСНИХ ВИБОЯХ ШАХТ**

*Запропонований бесшпуровий спосіб зміцнення покрівлі в лавах на підставі вивчення властивостей покрівлі: тріщинуватості, проникності порід, морфології поверхні тріщин. Дано обґрунтування та досліджено параметри бесшпурового способу. Досліджено властивості тріщинуватих порід і проходження сейсмоакустичних хвиль.*

**Ключові слова:** *тріщинуватість покрівлі, поширення сейсмоакустичних хвиль, параметри зміцнення.*

**Doctor of Tech.Sc. Klischin N.K., PhD Kasiiian S.I., Chepurnoi D.S. (DonSTU, Alchevsk, LPR)  
INVESTIGATION THE PROPERTIES OF FRACTURE-INDUCED ROOFS CONSIDERING  
THEIR STRENGTHENING IN MINE WALL FACE**

*The proposed spurless method for roof strengthening in wall is based on studying roof properties: fracture-induced, rock permeability, cracking surface morphology. The parameters of spurless method have been argued and studied. There have been studied the properties of fracture-induced roofs and occurrence of seismoacoustic waves.*

**Key words:** *roof fracturing, advance of seismoacoustic waves, strengthening variables.*

УДК 622.831.3

к.т.н. Касьян С. И.,

к.т.н. Кизияров О. Л.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, kasyan\_dmti@mail.ru, Radioalex@bk.ru)

## ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ РАЗГРУЗОЧНОЙ ПОЛОСЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ

*С помощью компьютерного моделирования изучено влияние ширины разгрузочной полосы на напряженное состояние массива пород в зависимости от расстояния до линии очистного забоя.*

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, компьютерное моделирование, разгрузочная полоса, подготовительная выработка.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Опорное горное давление оказывает значительное влияние на характер и эффективность управления кровлей очистных забоев, способы и параметры крепления очистных и подготовительных выработок. Обеспечение устойчивости выработок в зоне опорного давления – одна из важнейших задач в работе шахт [1]. По характеру изменений опорного горного давления различают такие зоны: динамического проявления опорного горного давления; затухания динамических проявлений опорного горного давления; статического или псевдостатического состояния опорного горного давления [2]. По причине столь сложного характера изменения опорного давления главной задачей исследования является определение механизма поведения кровли вокруг выработки под влиянием очистных работ [3] и, как результат, разработка практических рекомендаций по повышению устойчивости подготовительных выработок.

Устойчивость выработок, проводимых в выработанном пространстве на угольных шахтах, во многом зависит от напряженно-деформированного состояния окружающих горных пород. Поэтому натурные наблюдения за характером и степенью трещинной раздробленности кровли способствуют как расширению представления о механизме ее разрушения под влиянием

горного давления, так и совершенствованию модели кинетики смещений трещиноватых пород вокруг выработок [4]. Кроме того, можно отметить и особое влияние очистного забоя на опорное давление [5], где впереди очистного фронта по мере приближения к забою, начиная с расстояния 30 м, оно резко возрастает и достигает своего пика в 1–6 м от забоя лавы.

Существует множество изученных технологических факторов, влияющих на горное давление, начиная от скорости подвигания линии очистного забоя (ЛОЗ) [6, 7] до выбранного способа охраны [2] и отработки спаренных лав, в условиях которых необходимо учитывать оптимальное расстояние между ними для обеспечения минимальной и стабильной нагрузки на крепь промежуточного штрека [8].

В результате анализа литературных источников установлено, что существующие технологические факторы, влияющие на опорное давление, изучены недостаточно и такой фактор, как ширина разгрузочной полосы, может оказать существенное влияние на состояние подготовительной выработки, поэтому исследования в данном направлении являются актуальными.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является изучение влияния ширины разгрузочной полосы на напряженно-деформированное состояние пород в ее окрестности. Задачей является изучение зон потери устойчивости и концентрации

вертикальных, горизонтальных и эквивалентных напряжений в зависимости от расстояния до линии очистного забоя и варианта выемки угольного пласта от выработки на длину до 2 м в сторону нетронутого массива.

**Изложение материала и его результаты.** Формирование разгрузочной полосы (выемка угольного пласта в сторону нетронутого массива от выработки) позволяет сместить зону опорного давления в глубь массива, тем самым повысить устойчивость выработки, что создает предпосылки повторного использования выработки для отработки следующего выемочного столба. Для исследования составлены задачи с помощью ПК «Лира», в которых моделировался выемочный столб, оконеченный подготовительными выработками, и очистной забой длиной 200 метров. Задача №1 (исходная модель) рассчитана без влияния выемки угольного пласта (без разгрузочной полосы); задача №2 – аналогичные условия и дополнительно со стороны массива формируется разгрузочная полоса шириной 1 м; задача №3 – аналогичные условия и дополнительно со стороны массива формируется разгрузочная полоса шириной 2 м. В образованной полости (задача №2 и №3) возводится деревянный костер.

По результатам рассчитанных задач анализировались вертикальные, горизонтальные (вдоль линии очистного забоя) и эквивалентные напряжения в окрестности подготовительной выработки, охраняемой тумбами БЖБТ с целью повторного использования. Контрольными точками для исследования считались сечения подготовительной выработки на расстоянии 60 м впереди ЛОЗ (зона установившегося опорного давления), 1 м впереди ЛОЗ (максимум зоны опорного давления), 5 м за ЛОЗ (за секциями механизированной крепи), 80 м за ЛОЗ (в выработанном пространстве).

При рассмотрении горизонтальных напряжений впереди ЛОЗ задачи №1 со стороны разгрузочной полосы (1 м от выработки) наблюдается концентрация сжимающих напряжений. При выемке угля на

глубину 1 м и установке костров концентрация напряжений переносится на расстояние 1,5 м от выработки, а при ширине разгрузочной полосы 2 м концентрация смещается на глубину до 2,5 м.

При изучении вертикальных напряжений на расстоянии 60 м впереди очистного забоя установлено, что с увеличением ширины вынимаемой полосы угольного пласта максимум опорного давления смещается в глубь массива на ширину полосы (рис. 1). Согласно анализу эквивалентных напряжений можно сделать аналогичный вывод о смещении концентрации сжимающих напряжений в глубь массива и в почве угольного пласта.

На расстоянии 1 м впереди от ЛОЗ величина горизонтальных напряжений и область их действия при ширине разгрузочной полосы 1 м увеличилась на 3 %, но при ширине полосы 2 м картина изополей горизонтальных напряжений изменяется существенно: размер области действия уменьшается на 27 %. Высота зоны влияния концентрации вертикальных напряжений при полосе шириной 1 м снижается на 20 % по сравнению с исходной задачей и на 38 % при полосе шириной 2 м, причем отдаление максимума опорного давления также происходит на величину ширины вынимаемой полосы угля. По эквивалентным напряжениям (рис. 2) картина изменения изополей аналогична предыдущим исследованиям.

Анализ напряженного состояния массива горных пород вокруг выработки на расстоянии 5 м за ЛОЗ также показывает смещение напряжений в сторону выемки угля, причем при анализе горизонтальных напряжений (рис. 3) величина сжимающих напряжений уменьшается на 30 %. Высота зоны влияния концентрации вертикальных напряжений при выемке угля снижается на 25 % при сравнении исходной задачи с задачами №2 и на 42 % по сравнению с задачей №3, причем отдаление максимума опорного давления также происходит на величину разгрузочной полосы.

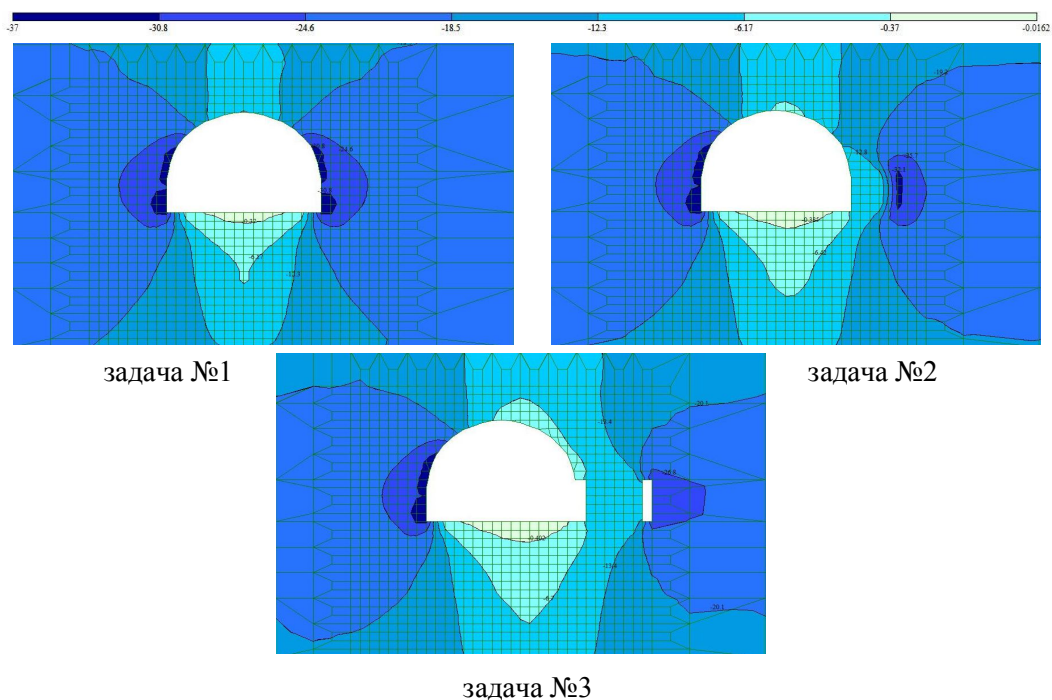


Рисунок 1 Изополя вертикальных напряжений на расстоянии 60 м впереди ЛОЗ

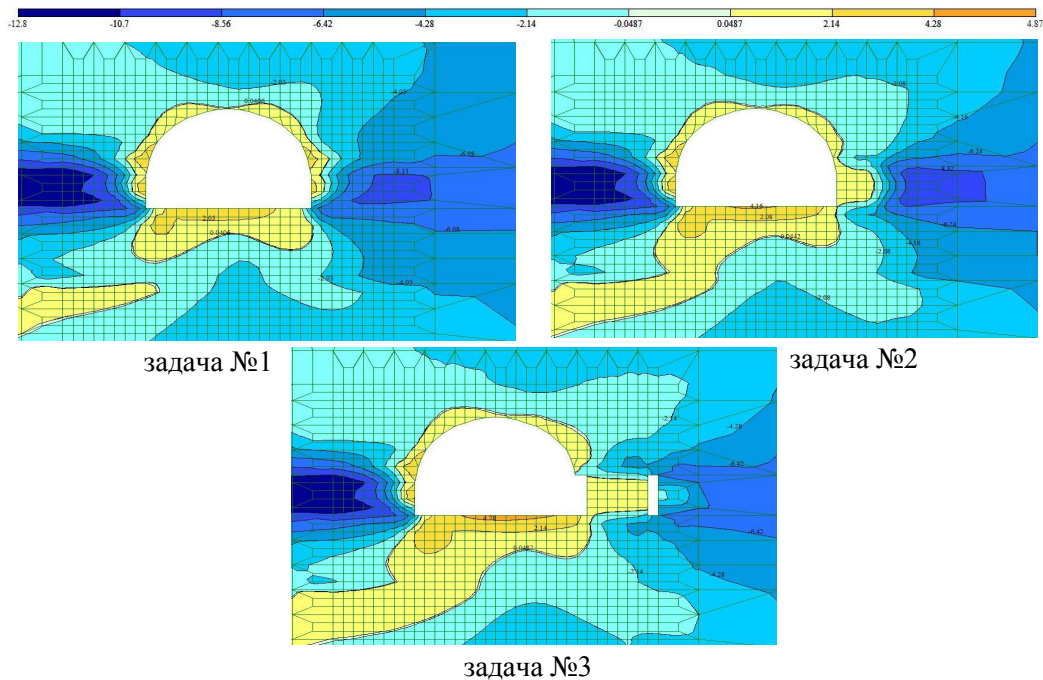


Рисунок 2 Изополя эквивалентных напряжений на расстоянии 1 м впереди ЛОЗ

При 80-метровом отдалении от ЛОЗ горизонтальные напряжения уменьшаются по длине на 38 % и высоте на 54 %. Кон-

центрация вертикальных напряжений не изменилась, но сместилась в сторону разгрузочной полосы, а высота зоны влияния

при выемке угля снижается на 12 % при полосе шириной 1 м и на 33% при полосе в 2 м. После изучения изополей напряжений были построены графики изменения вер-

тикальных напряжений в зависимости от ширины разгрузочной полосы и отдаления от выработки (рис. 4).

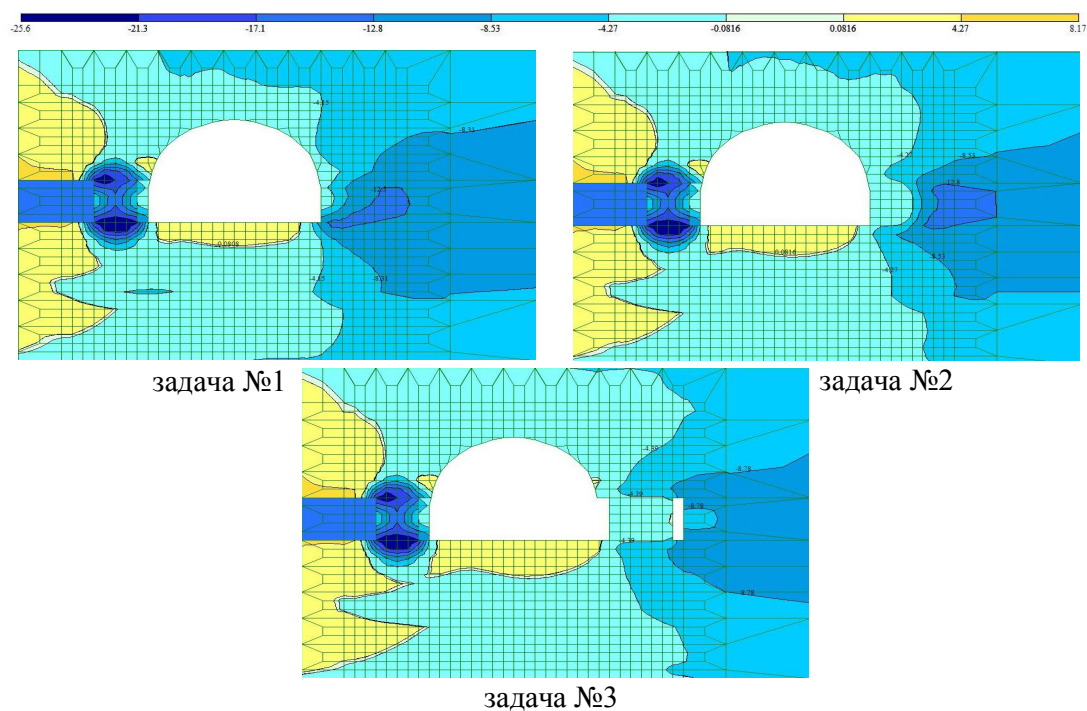


Рисунок 3 Изополя горизонтальных напряжений на расстоянии 5 м за ЛОЗ

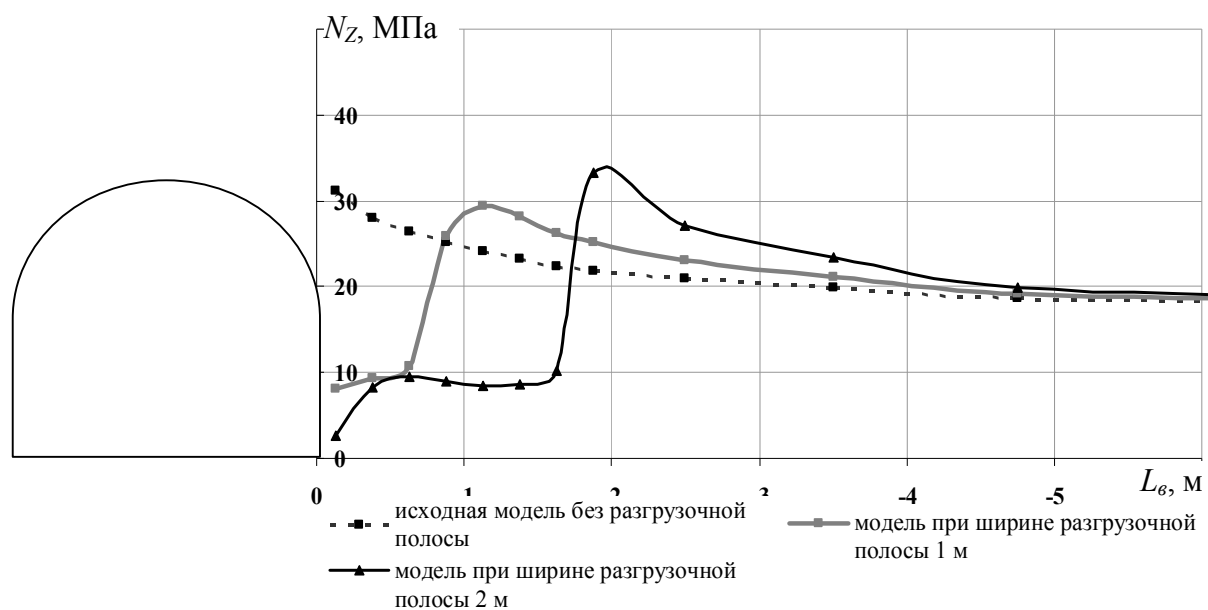


Рисунок 4 График изменения вертикальных напряжений вдоль лавы в зависимости от ширины разгрузочной полосы и отдаления от выработки

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

В результате анализа напряженного состояния массива вокруг выработки при формировании разгрузочной полосы установлено, что процесс извлечения угольного пласта приводит к отдалению максимума опорного давления на ширину этой полосы, но при выемке угля на 1 м величина максимума опорного давления снижается на 6 %, а при выемке на 2 м величина максимума

опорного давления увеличивается на 6%, следовательно, значения максимумов можно считать равнозначными.

В данной работе рассмотрены задачи в упругой постановке, в связи с чем дальнейшие исследования будут направлены на решение нелинейных реологических задач с целью анализа изменения напряженного состояния пород вокруг выработки во времени.

**Библиографический список**

1. Цыцаркин, В. Н. Прогнозирование проявлений горного давления и меры по обеспечению устойчивости подготовительных выработок на глубоких горизонтах [Текст] / В. Н. Цыцаркин, В. А. Шалауров // Вопросы горного давления. — 1971. — Выпуски 27–28. — С. 20–22.
2. Управление состоянием массива горных пород [Текст] : учебное пособие для ВУЗов / Н. К. Клишин и др. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — 288 с.
3. Маньков, В. Н. Исследования проявлений горного давления в подготовительных выработках сейсмоакустическим методом [Текст] / В. Н. Маньков, В. И. Немов, В. М. Станкус // Вопросы горного давления. — 1971. — Выпуски 27–28. — С. 116–120.
4. Борzych, А. Ф. Образование трещин в кровле отрабатываемого пласта [Текст] / А. Ф. Борzych // Уголь Украины. — № 11–12. — 2001. — С. 7–9.
5. Бенявски, З. Управление горным давлением [Текст] / З. Бенявски. — М. : Мир, 1990. — 254 с.
6. Гмоншинский, В. Г. Горное давление на пологий угольный пласт в окрестности выработки [Текст] / В. Г. Гмоншинский // Уголь. — 1957. — № 6. — С. 16–23.
7. Дудукалов, В. П. Реологическое приращение протяженности зоны проявления опорного давления впереди лавы [Текст] / В. П. Дудукалов, В. С. Дудукалов // Горный журнал. — 2006. — № 1. — С. 124–127.
8. Дядюра, О. И. Исследование взаимного влияния горного давления спаренных лав [Текст] / О. И. Дядюра // Уголь Украины. — № 2–3. — 2002. — С. 17–18.

© Касьян С. И.

© Кизияров О. Л.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. РМПИ ДонГТУ Клишиным Н. К.,  
к.т.н., доц. СУНИГОТ ЛГУ им. Даля Штанько Л. А.**

Статья поступила в редакцию 18.11.16.

к.т.н. Касьян С. И., к.т.н. Кизияров О. Л. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

# **ВПЛИВ ШИРИНИ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СМУГИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМУВАНИЙ СТАН ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ**

За допомогою комп'ютерного моделювання вивчено вплив ширини розвантажувальної смуги на напружений стан порід в залежності від відстані до лінії очисного вибою.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, комп'ютерне моделювання, виймання вугільного пласту, підготовча виробка.

**PhD Kasiian S.I., PhD Kiziiarov O.L. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**INFLUENCE OF WIDTH OF UNLOADING BELT ON STRESS-STRAIN MODE OF ROCKS AROUND DEVELOPMENT WORKING**

*Influence of width of unloading belt on stress-strain mode of rock massif has been studied using computer modeling depending on distance to wall face line.*

**Key words:** *stress-strain mode, computer modeling, unloading belt, development working.*

УДК 622.45.001.2

к.т.н. Денисенко В. П.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ НА ЛАВУ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ И ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ГАЗОВОГО БАРЬЕРА ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

*Выполнен детальный анализ нормативной методики расчета максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому (метановому) фактору на основе дифференцированной оценки степени влияния исходных параметров на уровень нагрузки. Предложен вариант усовершенствованной методики определения допустимой нагрузки по фактору проветривания. Обоснованы пути и средства решения проблемы по устранению ограничения нагрузки на лаву по газовому фактору.*

**Ключевые слова:** угольная шахта, газonosный пласт, метанообильность, газовый фактор, нагрузка, управление метановыделением.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Современные условия разработки газonosных угольных пластов и переход горных работ на более глубокие горизонты с одновременным применением высокопроизводительных очистных комплексов характеризуются напряженным газовым режимом горных выработок выемочных участков. Высокий уровень метанообильности и крайняя ее неравномерность являются основным фактором, ограничивающим нагрузку на очистной забой. Подавляющее большинство шахт Донбасса, Печорского, Карагандинского, Кузнецкого и других газonosных угольных бассейнов ближнего и дальнего зарубежья ведут разработку угольных пластов в условиях ограничения нагрузки на очистные забои по газовому фактору.

Показателем ограничения нагрузки является так называемая максимально допустимая величина нагрузки на очистной забой по газовому фактору ( $A_{\max}$ , т/сут.). При достижении проектной нагрузкой этого уровня ( $A_p = A_{\max}$ ) в исходящих струях горных выработок выемочного участка концентрация метана достигнет предельно допустимых значений согласно ПБ [1].

Расчет допустимой нагрузки на очистной забой производится исходя из условия разжижения метана по источникам выделения и обеспечения допустимых уровней концентраций по всей системе выработок выемоч-

ного участка, что дает возможность предусматривать мероприятия по управлению метановыделением, выбирать рациональные схемы проветривания, транспортировки угля и эффективно использовать очистное оборудование [2]. В этой связи часто используют более точный термин «допустимая нагрузка на очистной забой по фактору проветривания». Учитывая последнее, газовым барьером выемочного участка принято считать несоответствие между величиной газовой выделения и расходом свежего воздуха для проветривания, что приводит к газопы опасности выработок.

Вместе с этим максимально допустимая нагрузка на очистной забой представляет собой комплексный показатель газобезопасности горных работ, который определяется итоговыми результатами всестороннего изучения газового фактора и отражает современный уровень решения ряда сопряженных проблем: прогнозирования и управления метановыделением; автоматического контроля параметров рудничной атмосферы и газовой защиты; надежности взрыво- и искрозащиты электрооборудования; совершенствования нормативной базы в части проветривания и дегазации.

По указанным проблемам выполнен достаточно большой объем научных исследований, в том числе фундаментальных и технических разработок, практические результаты которых вошли в соответствующие

нормативные документы и используются на практике [1, 2, 3].

Анализ последних достижений и публикаций показал, что в результате многолетних дискуссий по проблеме создания газобезопасных условий труда в шахтах сформировалось мнение о необходимости коренного пересмотра методических подходов к обоснованию оптимальных технологических параметров с учетом газового фактора и, как следствие, совершенствования нормативной базы в определении допустимых нагрузок на очистной забой [4, 5, 6].

В работе [4] решалась задача построения аналитической модели и методики расчета допустимой нагрузки на очистной забой за счет использования фундаментальных уравнений теории фильтрации газа в твердой среде, которые учитывали физические свойства угля и пород и их сорбционные характеристики, а также технологические параметры ведения очистных работ. В результате были получены уравнения для определения дебита метана в лаву из всех возможных источников в зависимости от скорости движения комбайна. В итоге методика оказалась непригодной для инженерных расчетов в связи с тем, что в аналитической модели был использован ряд упрощений, а также требовались результаты регулярных экспериментальных определений газового давления в пласте, что весьма проблематично [5].

В работе [6] по результатам не вполне корректного анализа нормативной методики определения допустимой нагрузки на лаву ( $A_{\max}$ ) авторы пришли к выводу, что использование последней приводит к значительному ограничению проектной нагрузки. Отмечено, что основной причиной тому является использование в расчетах завышенной интенсивности метановыделения, которая связана с получением недостоверных данных о природной газоносности угольных пластов. В качестве альтернативы предложено применение портативного прибора для регулярного определения газоносности и газового давления в пробах угля, отобранных из шпуров. В итоге решалась частная задача

повышения точности прогноза газопритока из пласта в призабойное пространство лавы.

Опыт применения методики расчета допустимой нагрузки на лаву на шахтах Донбасса, ведущих очистные работы в условиях ограничения нагрузки по газовому фактору, показал, что проблемным вопросом является прогноз метанопритоков из выработанных пространств и обеспечение допустимых концентраций метана в исходящих струях выемочных участков. Это связано с тем, что в газовом балансе выемочного участка доля (удельный вес) метановыделения из выработанного пространства составляет 70-75%.

**Цель исследований.** Установление потенциальных возможностей снятия ограничений проектной нагрузки за счет снижения негативного влияния газового фактора для эффективного использования горнодобывающей техники.

**Постановка задачи.** Провести детальный анализ нормативной методики расчета допустимой нагрузки на очистной забой посредством дифференцированной оценки степени влияния исходных параметров, входящих в формулу, на конечный результат расчета. Разработать вариант усовершенствованной методики, наметить пути и предложить технические решения по устранению ограничения проектной нагрузки на лаву.

**Изложение материала и его результаты.** Основное отличие данного исследования, от ранее проведенных, состоит в комплексном подходе к решению задачи преодоления газового барьера и увеличения нагрузки на очистной забой.

Методика расчета максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору приведена в разделе 7 Руководства [2] и обязательна для применения на газовых шахтах при проектировании вентиляции и дегазации выемочных участков. Она имеет следующий вид в случае, если ожидаемая метанообильность определена по природной метаноносности или фактической метанообильности при одинаковой длине проектируемой и лавы-аналога:

$$A_{\max} = A_p \cdot I_p^{-1.67} \left( \frac{Q_p (C - C_0)}{194} \right)^{1.93}, \text{ т/сут.}, \quad (1)$$

где  $A_p$  – проектная нагрузка на лаву, т/сут.;

$I_p$  – ожидаемая метанообильность лавы или выемочного участка, м<sup>3</sup>/мин.;

$Q_p = Q_{\max}$  – максимальный расход воздуха в лаве или на выемочном участке, м<sup>3</sup>/мин.;

$C$  и  $C_0$  – допустимые концентрации метана на исходящей струе лавы (участка) и входящей соответственно, %.

Для удобства анализа методики приведем зависимость к первоначальному виду и принимаем, что в лаву и на выемочный участок поступает чистый воздух без примеси метана,  $C_0=0$ :

$$A_{\max} = A_p \frac{\left( \frac{Q_{\max} \cdot C_{\text{доп}}}{k_H \cdot 100} \right)^{1.67}}{I_p^{1.67}}, \text{ т/сут.}, \quad (2)$$

где  $k_H$  – коэффициент неравномерности; определяется средним метановыделением в формуле (1). По разделу 6.2 [2] коэффициент равен:

$$k_H = \frac{1.94}{\bar{I}^{0.14}}; \quad (3)$$

$C_{\text{доп}}$  – допустимая по ПБ концентрация метана, %;  $C_{\text{доп}}=1,0$  %;

$Q_{\max}$  – максимальный расход воздуха для проветривания лавы в условиях ограничения нагрузки на лаву, м<sup>3</sup>/мин.

$$Q_{\max} = 60 \cdot S_{\text{оч. min}} \cdot v_{\max}, \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (4)$$

где  $S_{\text{оч. min}}$  – минимальная площадь поперечного сечения лавы в свету, м<sup>2</sup>;  $v_{\max}$  – допустимая согласно ПБ скорость движения воздуха в лаве, м/с.;  $v_{\max} = 4,0$  м/с.;

Следует отметить, что в основу анализируемой методики положена эмпирическая степенная зависимость метановыделения от нагрузки на очистной забой для случая определения ожидаемой метанообильности по фактическому метановыделению:

$$\frac{I_p}{I_\phi} = \left( \frac{A_p}{A_\phi} \right)^{0.6}. \quad (5)$$

Приравняв  $I_\phi = I_{\max}$  и  $A_\phi = A_{\max}$ , после преобразования выражения получим зависимость:

$$A_{\max} = A_p \frac{(I_{\max}/k_H)^{1.67}}{I_p^{1.67}}, \text{ т/сут.} \quad (6)$$

$$I_{\max} = 0.01 \cdot Q_{\max} \cdot C, \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Для установления потенциальной возможности снятия ограничения на величину максимально допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору проведем анализ степени влияния каждого исходного параметра, входящего в формулу (2).

Максимально допустимое метановыделение в лаву ( $I_{\max}$ , м<sup>3</sup>/мин.) определяется максимальным расходом воздуха в лаве ( $Q_{\max}$ , м<sup>3</sup>/мин.) в данных условиях, исходя из условия разжижения метана по источникам выделения до допустимой согласно ПБ концентрации метана на исходящей струе лавы. При прочих равных условиях максимальный расход воздуха по формуле (4) зависит от максимально допустимой скорости движения воздуха в лаве ( $v_{\max}$ , м/с.). Согласно действующим ПБ [1] принято:  $C = 1,0$ %;  $v_{\max} = 4$  м/с.

В ряде зарубежных стран законодательно установлен допустимый уровень концентрации метана на исходящих струях выемочного участка равным 2%, а скорость воздуха в очистном забое варьируется в зависимости от условий ведения горных работ. В отечественной практике для комплексно механизированных лав соответствующими инструкциями допускается повышение максимальной скорости движения воздуха в призабойном пространстве до 5,0 м/с и концентрации метана до 1,3 % в исходящей струе лавы при условии применения системы автоматизированного контроля параметров рудничной атмосферы и газовой защиты, высокого уровня механизации и автоматизации производственных процессов, высокой эффективности пылеподавления.

Расчеты, проведенные с использованием фактических параметров ведения очистных работ применительно к условиям функционирования 3 Западной лавы пласта  $k_6^B$  шахты «Никанор-Новая» в Донбассе, показали следующее. Угольный пласт мощностью 1,1 м с природной метаноносностью 22-23 м<sup>3</sup>/т с.б.м. угля разрабатывался с применением механизированного комплекса МКД-80. Схема проветривания выемочного участка – прямоточная с подсвежением исходящей струи из лавы. Для снижения поступления метана из выработанного пространства в выработки участка применялась скважинная дегазация вмещающих пласт массивов с эффективностью 30-35%. При среднегодовой нагрузке на лаву 846 т/сут. средняя метанообильность лавы составила 4,86 м<sup>3</sup>/мин, выемочного участка – 14,9 м<sup>3</sup>/мин. без учета дегазации.

Максимально допустимая нагрузка на очистной забой, рассчитанная по нормативной методике, составила 1220 т/сут. для данных условий. Если принять  $v_{max} = 5,0$  м/с.,  $C_{доп.} = 1,3\%$ , то уровень  $A_{max} = 2900$  т/сут. и увеличится в 2,4 раза по сравнению с нормативной. При условии увеличения концентрации метана до  $C_{доп.} = 1,3\%$ , а величина  $v_{max} = 4,0$  м/с. остается неизменной, тогда нагрузка  $A_{max} = 1964$  т/сут., что в 1,6 раза больше нормативного значения.

Для расчета максимально допустимой нагрузки на лаву по фактору проветривания выемочного участка максимальный расход воздуха для проветривания участка ( $Q_{уч. max}$ , м<sup>3</sup>/мин.) рассчитывается по [2] с учетом максимального расхода воздуха для проветривания лавы и принятой схемы проветривания участка.

Максимальный расход воздуха на выемочном участке для схем проветривания с последовательным разбавлением метана по источникам выделения (схемы типа 1-В, 1-м) определяется по формуле:

$$Q_{max} = Q_{max} \cdot \frac{k_{ут.в.}}{k_{о.з.}}, \text{ м}^3/\text{мин.}, \quad (7)$$

где  $k_{ут.в.}$  – коэффициент утечек воздуха

через выработанное пространство в пределах выемочного участка;

$k_{о.з.}$  – коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства в зависимости от способа управления кровлей и литологического состава пород;  $k_{о.з.} = 1,05 \div 1,3$ .

Если допустимая нагрузка на очистной забой, рассчитанная по газовыделению участка значительно меньше нагрузки, рассчитанной по газовыделению на исходящей из лавы, то применяют схемы проветривания с обособленным разбавлением метана по исходникам (схемы типа 2-В, 3-В) и мероприятия по борьбе с метаном (дегазацию).

Для указанных схем расчет расхода на участке определяют по формуле:

$$Q_{max \text{ уч.}} = Q_{доп.} + Q_{max \text{ оч.}} \cdot \frac{k_{ут.в.}}{k_{о.з.}}, \text{ м}^3/\text{мин.}, \quad (8)$$

где  $Q_{доп.}$  – расход воздуха на подсвежение, м<sup>3</sup>/мин.;

$k_{о.з.}$  – коэф., учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства.

Должно соблюдаться условие:

$$Q_{доп.} \leq Q_{max \text{ оч.}}, \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (9)$$

$$Q_{доп.} \geq 60 \cdot S \cdot v_{min}, \quad (10)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения выработки с подсвежающей струей в свету, м<sup>2</sup>;

$v_{min}$  – минимальная скорость движения воздуха в выработке по тепловому фактору, м/с.

Расчет допустимой нагрузки по фактору проветривания участка для реальных условий работы 3 Западной лавы, выполненный по нормативной методике ( $C_{доп.} = 1,0\%$ ), показал более жесткие ограничения расчетной нагрузки  $A_{max} = 580$  т/сут. При условии  $C_{доп.} = 1,3\%$  на исходящей струе выемочного участка  $A_{max} = 830$  т/сут., что в 1,5 раза больше нормативного значения.

Следующими важными исходными параметрами методики расчета нагрузки являются величины ожидаемой метанообильности лавы ( $I_{оч.р.}$ ) и выемочного участка ( $I_{уч.р.}$ ). Согласно нормативному руководству [2]

прогноз величины метанообильности для действующих шахт требуется производить по фактической метанообильности с использованием данных лавы-аналога. Для новых шахт, горизонтов, пластов допускается расчет метанообильности по природной метаноносности угольных пластов и пород с последующим уточнением по первому методу в процессе ведения очистных работ. Исходными данными для прогноза ожидаемой метанообильности выработок являются фактические метанообильность ( $I_{\text{оч.ф.}}$ ,  $I_{\text{уч.ф.}}$ ,  $\text{м}^3/\text{мин.}$ ) и нагрузка на лаву ( $A_{\text{ф.}}$ ,  $\text{т/сут.}$ ), определяемые как средние величины за длительный период работы лавы, по руководству [2] – не менее 3-х месяцев. Точность указанных величин практически определяется погрешностью измерений.

Использование метода аналогий для расчета ожидаемой метанообильности вполне оправдано. Он дает удовлетворительные результаты в случаях, когда на исходную величину влияет довольно большое число трудно или вообще не учитываемых факторов.

Известно, что процесс метановыделения в горные выработки является ярко выраженным динамическим процессом, то есть неравномерным и случайным. Колебания метановыделения в горные выработки в процессе разработки пласта происходят под влиянием изменения природной метаноносности, интенсивности метаноотдачи в трещиноватых и тектонически нарушенных зонах, регулярных осадок массива кровли, неравномерности процесса выемки угля и прочее. В случайном процессе метановыделения показателем неравномерности является коэффициент неравномерности метановыделения, равный отношению максимального метановыделения к среднему:

$$k_H = \frac{I_{\text{max}}}{\bar{I}}. \quad (11)$$

Максимальное метановыделение при условии соответствия нормальному закону распределения определяется по правилу «трех сигм»:

$$I_{\text{max}} = \bar{I} + 3\delta, \text{ м}^3/\text{мин.}, \quad (12)$$

где  $\delta$  – стандартное отклонение метановыделения,  $\text{м}^3/\text{мин.}$

В работе [8] показано, что

$$k_H = 1 + 3k_g, \text{ м}^3/\text{мин.}, \quad (13)$$

где  $k_g$  – коэффициент вариации.

Коэффициент неравномерности метановыделения в данном случае имеет смысл коэффициента запаса воздуха и численно равен ему.

В формулу (2) коэффициент неравномерности метановыделения введен в виде делителя максимальной метанообильности выработки с целью повышения уровня газовой безопасности.

Следует отметить, что расход воздуха для проветривания участков выработок также подвержен определенным колебаниям во времени. Колебания связаны с состоянием вентиляционных сооружений и выемочных выработок, интенсивностью движения технологического транспорта, колебаниями атмосферного давления и прочее.

В результате исследований установлено, что для лав, оборудованных мехкомплексами, изменение удельного аэродинамического сопротивления достигает 40% в течение цикла и вызвано изменением пространственного положения угольного комбайна [9]. Расчеты показывают, что коэффициент неравномерности расхода воздуха равен 1,05–1,1. Поэтому считаем целесообразным ввести коэффициент  $k_H$  в формулу (2) в виде произведения  $k_H^c \cdot k_H^b$  (коэффициент неравномерности газовыделения, коэффициент неравномерности расхода воздуха).

В части совершенствования методики расчета допустимой нагрузки на лаву нами предложена линейная зависимость, адекватно описывающая процесс метановыделения при изменении нагрузки [7]. В диапазоне относительных изменений добычи угля, наблюдаемых на практике ( $0,5 \leq \frac{A_p}{A_{\phi}} \leq 2,0$ ), зависимость имеет математический вид:

$$\frac{I_p}{I_\phi} = 0.42 + 0.58 \frac{A_p}{A_\phi} \quad (14)$$

По точности расчетов полученная зависимость не уступает нормативной степенной

зависимости (рис. 1). Важным моментом является наличие в уравнении свободного члена, равного величине метановыделения при временно остановленных работах по добыче угля в лаве (рис. 2).

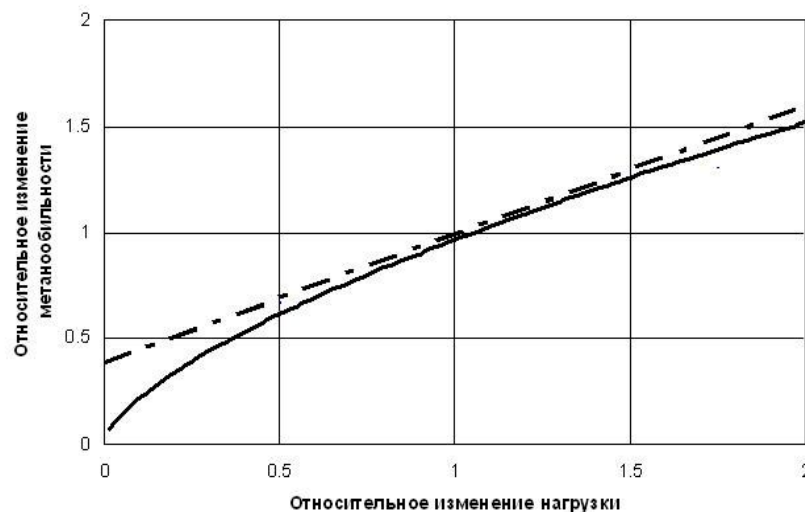


Рисунок 1 Линеаризация зависимости метанообильности выработок от нагрузки на очистной забой

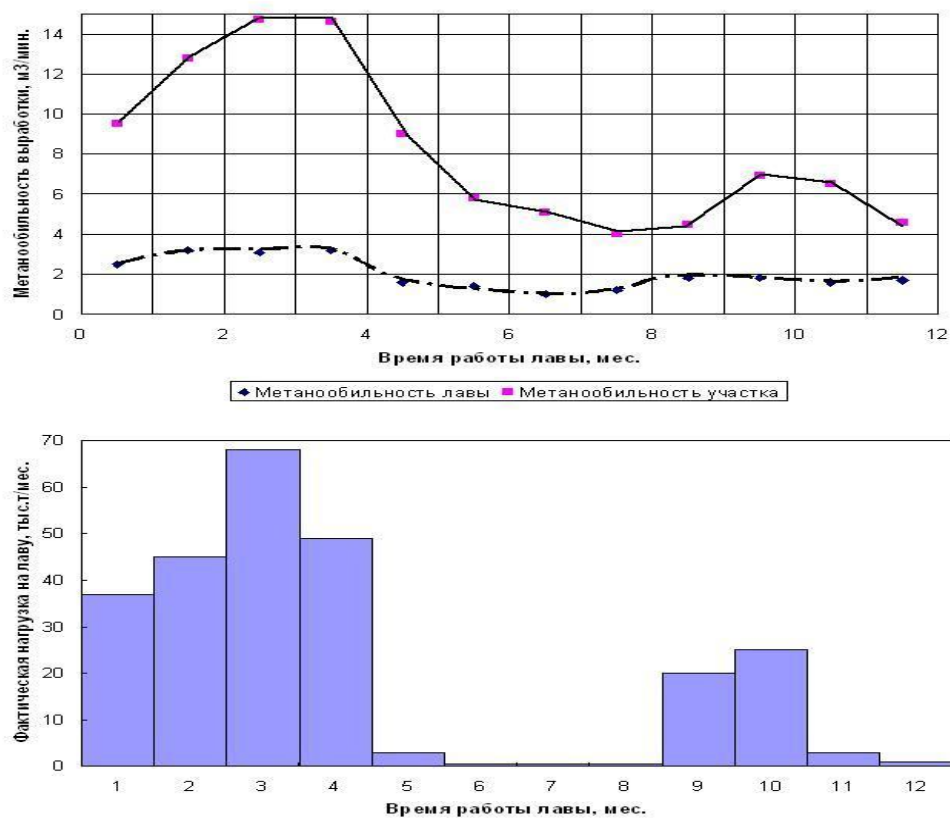


Рисунок 2 Характер изменения метанообильности выработок в зависимости от нагрузки на лаву

Уравнение для определения метанообильности выработки запишем в виде:

$$I_p = I_\phi (0,42 + 0,58 \frac{A_p}{A_\phi}), \text{ м}^3/\text{мин.} \quad (15)$$

С учетом установленной зависимости (15) формула для расчета максимально допустимой нагрузки на лаву по газовому фактору примет вид:

$$A_{\max} = \frac{0,58 \cdot A_p}{\frac{I_p}{\frac{I_{\max}}{k_n^r \cdot k_n^b}} - 0,42}, \text{ т/сут.} \quad (16)$$

Предложенная формула удобна для инженерных расчетов и отвечает физическому смыслу процесса метановыделения.

Результаты проведенного анализа показали, что снятие ограничений возможно посредством воздействия на исходные параметры. Интенсивные с высокой неравномерностью поступления метана из выработанного пространства лавы являются основным ограничивающим фактором. На метанообильных шахтах первоочередным и часто единственным мероприятием в борьбе с этим источником метана является искусственная дегазация, требующая высокой эффективности. Применение дегазации выработанного пространства позволяет одновременно снизить уровень метановыделения, его неравномерность и вероятность опасных загазований выработок.

Результаты изучения динамики метановыделения в лаве показали, что высокая неравномерность выделения метана, иногда превышающие допустимые пределы, тесно связана с особенностью процесса добычи угля. Последний характеризуется чередованием включений комбайна в работу и его остановкой.

Для снижения уровня метанообильности и ее неравномерности разработаны способы и технические средства, которые делятся на две группы: активные и пассивные. Активные способы направлены непосредственно на снижение метаноносности пласта. Они

включают в себя различные схемы дегазации разрабатываемого пласта глубокими скважинами, заложенными в массиве впереди лавы, для повышения газоотдачи в скважинах применяют искусственное повышение проницаемости пласта гидровоздействием, взрыванием, гидрорезанием. Непосредственно в очистном забое призабойную часть пласта дегазируют короткими шпурами. В Донбассе активные способы не нашли применения по причине их низкой эффективности и высокой трудоемкости.

Пассивные способы направлены на перераспределение метановыделения из пласта во времени посредством увеличения глубины естественной дегазации призабойной части пласта. К ним относятся гидрорыхление или гидроотжим краевой части пласта через шпуры, подрубка пласта врубовой машиной, создание разгрузочной щели угольными фрезами и гидромониторами. Эти способы имеют перспективу, так как способны комплексно решать вопросы управления метановыделением, борьбы с пылью и внезапными выбросами угля и газа.

Актуальным остается вопрос совместного управления технологическим процессом выемки угля и газодинамическими процессами. Взаимосвязь этих процессов проявляется в закономерностях формирования концентрации метана в исходящей струе воздуха в зависимости от режима работы комбайна (скорость подачи комбайна, время непрерывной работы или простоя) с одной стороны, с другой – вынужденных простоях по причине превышения допустимой концентрации метана.

Математическое описание процесса изменения концентрации метана в лаве при выемке угля комбайном имеет вид:

$$C(t) = \lambda(t) \sum_i a_i \cdot e^{\beta_i t} + [\lambda(t) - 1] \sum_j a_j e^{\beta_j t}, \% \quad (17)$$

где  $a_i, a_j, \beta_i, \beta_j$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от горно-геологических условий и технологии выемки угля;

$\lambda(t)$  – коэффициент, равный единице при  $t = t_p$  и равный нулю при  $t = t_{к.р.}$ .

Для установления оптимальной рабочей скорости подачи комбайна использована оптимизационная модель с минимизацией времени прохождения комбайном всей лавы:

$$T = \frac{l_{oc}}{v \cdot \sum \lambda(t)} + \sum_j [1 - \lambda(t)] \rightarrow \min, \text{ мин.} \quad (18)$$

Результаты моделирования показали, что при работе комбайна с оптимальной скоростью подачи длительность технологического цикла уменьшается почти в два раза и, как следствие, возрастает нагрузка на очистной забой.

В практическом плане предложенная зави-

симость (17) может быть положена в основу алгоритма автоматизированного управления процессом выемки угля с учетом газового фактора.

**Выводы.** Решение задачи преодоления газового барьера и увеличения нагрузки на очистной забой должно опираться на комплексное использование передовых технологий борьбы с метаном, автоматизированное управление процессом выемки угля, а также совершенствование методической и нормативной базы в области вентиляции и дегазации.

### Библиографический список

1. Правила безопасности в угольных шахтах [Текст]: НПА ОП 10.0-1.01-10. — К. : Госгорпромнадзор Украины, 2010. — 432 с.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Государственный нормативный акт об охране труда 1.130-6.09.93 [Текст]. — К. : Основа. 1994. — 311 с.
3. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. СОУ 10.1.00174088.001-2004 [Текст]. — К. : Минтопэнерго, 2004. — С. 22–30.
4. Сластунов, С. В. Обоснование допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору [Текст] / С. В. Сластунов, Г. Г. Каркашадзе, К. С. Коликов // Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2009». — М. : ИД ООО «Роликс», 2009. — С. 151–159.
5. Каркашадзе, Г. Г. Совершенствование методики расчета нагрузки на очистной забой на основе шахтных измерений пластового давления и параметров массопереноса метана в угольных пластах [Текст] / Г. Г. Каркашадзе, Г. П. Ермак, М. А. Волков // Горный информационно-аналитический бюллетень, тематическое приложение «Экология, метанобезопасность». — М. : изд. «Горная книга», 2011. — С. 169–175.
6. Пилюгин, В. И. Совершенствование нормативной базы в области проектирования проветривания и дегазации очистных забоев [Текст] / В. И. Пилюгин, Г. П. Стариков // Уголь Украины. — 2013. — № 8. — С. 40–43.
7. Денисенко, В. П. Совершенствование горно-статистического метода прогноза метанообильности горных выработок добычных участков [Текст] / В. П. Денисенко, Г. Л. Пигида, Е. В. Абакумова, В. А. Маркин, Е. П. Анненков // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. МакНИИ. — Макеевка : МакНИИ, 2008. — Вып. 2(22), 2008. — С. 63–75.
8. Пигида, Г. Л. Элементы теории газовой защиты очистных участков угольных шахт [Текст] / Г. Л. Пигида — М. : Недра, 1975. — 80 с.
9. Абрамов, Ф. А. Некоторые вопросы управления аэрогазодинамическими процессами на выемочных участках угольных шахт [Текст] / Ф. А. Абрамов // сб. Проблемы современной рудничной аэрологии. — М. : Наука, 1974. — С. 38–44.

© Денисенко В. П.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. РМПИ ДонГТУ Фрумкин Р. А.,  
гл. горняком технической дирекции ГУП ЛНР «Центруголь» Сафоновым А. Б.

Статья поступила в редакцию 21.11.16.

к.т.н. Денисенко В. П. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЛАВУ ЗА ГАЗОВИМ ФАКТОРОМ ТА ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ГАЗОВОГО БАР'ЄРУ ВІЙМКОВОЇ ДІЛЬНИЦІ**

*Виконано детальний аналіз нормативної методики розрахунку максимально допустимого навантаження на очисний вибій за газовим (метановим) фактором на підставі диференційованої оцінки ступеню впливу вихідних параметрів на рівень допустимого навантаження. Запропоновано варіант вдосконаленої методики визначення допустимого навантаження за фактором провітрювання. Обґрунтовані шляхи і засоби вирішення проблеми усунення обмежень навантаження на лаву за газовим фактором.*

**Ключові слова:** вугільна шахта, газоносний пласт, метановість, газовий фактор, навантаження, управління метановиділенням.

PhD Denisenko V.P. (DonSTU, ALchevsk, LPR)

**IMPROVING THE CALCULATION PROCEDURE OF MAXIMUM PERMITTED LOAD ON A LONGWALL ON GAS RATIO AND WAYS FOR OVERCOMING GAS BARRIER OF WORKING AREA**

*In-depth study of normative calculation procedure of maximum permitted load on a longwall on gas (methane) ratio has been done considering differential assessment of initial data influence on load degree. The improved method for determining permitted load on aeration factor is proposed. There have been grounded ways and methods to solve the problem of eliminating the load limits on a longwall on gas ratio.*

**Key words:** coal mine, gas-bearing bed, methane-bearing capacity, gas ratio, load, control of methane release.

УДК 622.235.5

к.т.н., доц. Шульгин П. Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАСПОРТОВ БВР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

*Приведены рекомендации по составлению паспортов буровзрывных работ с отдельным расчетом групп шпуров в зависимости от их действия, представлена программа для ЭВМ для расчета этих параметров.*

**Ключевые слова:** взрыв, вруб, отбойные шпуры, контурное взрывание, паспорт буровзрывных работ, заряд, линия наименьшего сопротивления.

При сооружении выработок буровзрывным способом ежегодно тратится значительное количество взрывчатых веществ (ВВ), а показатели технико-экономической эффективности проведения выработок по крепким породам нуждаются в существенном улучшении. Об этом свидетельствуют низкие темпы проведения выработок (так, в настоящее время они составляют 25 м/мес., что значительно ниже нормативной скорости - 70 м/мес.), переход на многоприемное взрывание, низкие показатели коэффициента использования шпуров [1-4]. Одной из причин этого является недостаточная обоснованность методик расчета параметров шпуровых зарядов, врубов, обеспечивающих образование второй открытой поверхности, оконтуривающих зарядов.

Одним из перспективных направлений повышения технико-экономической эффективности буровзрывной технологии сооружения горных выработок следует считать создание новых паспортов буровзрывных работ (БВР), которые базируются на использовании эффективных конструкций вруба и обосновании их параметров с учетом конкретных горно-геологических и технических условий.

В настоящее время общепринятой методикой составления паспортов БВР является расчет удельного расхода и параметров зарядов на всю выработку в целом [5, 6]. Однако с применением высокоэффективной конструкции вруба, в частности прямого цилиндрического вруба с центральным опережающим шпуром [7, 8],

возможно использовать отдельный подход к расчету каждой группы шпуров – врубовых, отбойных и оконтуривающих.

Это необходимо производить по той причине, что разные группы шпуров работают по своим особым, значительно различающимся схемам. В частности, врубовые шпуры работают в условиях лишь одной открытой поверхности, расположенной перпендикулярно их направлению, тогда как отбойные шпуры работают уже на две открытые поверхности. Оконтуривающие шпуры должны обеспечить выполнение других требований: создавать ровный контур выработки (требуемого сечения) с минимальными нарушениями сплошности законтурного массива.

При применении врубов, направленных на высокоэффективное образование дополнительной открытой поверхности (например, прямого цилиндрического вруба), необходимо пересмотреть и подходы к расчету остальных параметров шпуров. Отбойные шпуры должны работать на плоскость забоя и плоскость образованную врубом. В связи с этим могут возникнуть различные случаи работы отбойных шпуров. На рисунке 1 показаны два возможных варианта взаимодействия зарядов. В первом случае (рис. 1, а) между зарядами не происходит взаимодействия и каждый из них работает отдельно на выброс участка породы в середину врубовой полости. Во втором же случае (рис. 1, б) между шпурами образовались сквозные трещины отрыва.

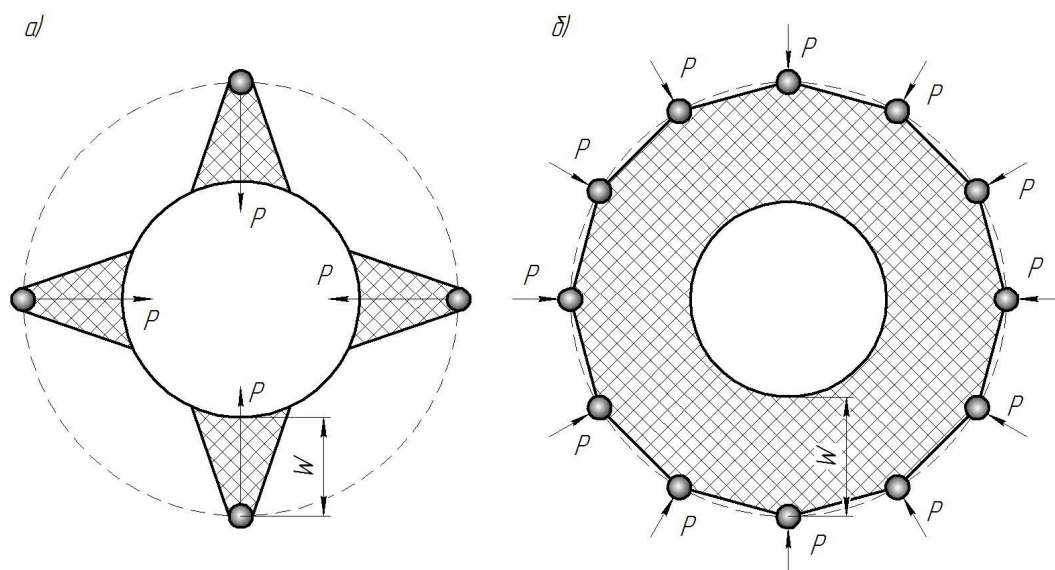


Рисунок 1 Схема работы отбойных шпуров, параллельных врубовой полости: а) без образования сквозных трещин между зарядами; б) с образования сквозных трещин между зарядами

Таким образом, образуется кольцо из породы (породная оболочка), которое может быть разрушено давлением газообразных продуктов взрыва, если напряжения в оболочке превысят прочность породы.

Следовательно, всегда необходимо располагать шпуры так, чтобы между ними образовывалась соединяющая их трещина. Рассмотрим, каким образом необходимо располагать шпуры для выполнения поставленного условия. Практическое значение имеет случай, когда заряды расположены по замкнутой линии, повторяющей контур поперечного сечения полости внутри линии шпуров.

Следовательно, исходя из конструкции вруба, отбойные шпуры следует располагать по окружности с радиусом  $r^*$ , который должен быть больше радиуса вруба на некоторую величину  $W$ . Расстояние между зарядами расположенными по окружности  $a$  должно быть меньше значения  $W$  и равно радиусу радиальных трещин. Радиус радиальных трещин можно определить исходя из геомеханики взрыва [9, 10] по формуле:

$$R_{tr} = r_0 \sqrt{\frac{P}{[\sigma_P]}}, \quad (1)$$

где  $[\sigma_P]$  – предел прочности породы на растяжение;

$P$  – давление газообразных продуктов взрыва.

Если  $R_{tr} > a$ , то трещины становятся сквозными, соединяющими соседние шпуры. Эти трещины отделяют от породного массива часть, близкую по форме к цилиндру радиусом  $r_0$ , ось которого перпендикулярна поверхности обнажения. Если по этой оси также производится взрывание цилиндрического заряда, то на глубине  $w_0$  может произойти отрыв этой части массива.

При проектировании паспорта БВР необходимо производить расчет так, чтобы обеспечить последовательное «раздавливание» породных колец одного за другим, не допуская разрушения породы от линейного заряда в виде конусов выброса.

Рассмотрим задачу работы отбойных шпуров после взрыва прямого цилиндрического вруба. Предположим, что после взрыва вруба в породном массиве образовалась цилиндрическая полость радиусом  $r_0$  и длиной  $L_3$ . Так как отбойные шпуры располагаем по окружности с радиусом  $r^*$ , то объем породы, приходящийся на отбойные шпуры, определим по формуле:

$$V_* = \pi(r_*^2 - r_0^2) \cdot L_3. \quad (2)$$

В то же время должно выполняться условие:

$$r_* - r_0 = W \geq a. \quad (3)$$

Принимаем  $W = 1,2 \cdot a$ , получаем:

$$r_* = r_0 + 1,2a; \quad (4)$$

$$V_* = \pi \cdot 1,2a(2,4r_0 + 1,2a) \cdot L_3. \quad (5)$$

Число отбойных шпуров на окружности необходимо определять по формуле:

$$N = \frac{2\pi(r_0 + 1,2a)}{a}. \quad (6)$$

С целью избегания переуплотнения породы, взорванной отбойными шпурами, необходимо, чтобы ее объем был меньше объема полости, образованной предыдущим взрывом. Т. е. должно выполняться неравенство:

$$V_0 \geq V_* \cdot k_p \cdot (1 - k_e), \quad (7)$$

где  $k_p$  – коэффициент разрыхления;

$k_e$  – коэффициент выброса, равный 0,7 – 0,8 (зависит от конструкции заряда, для клинового и конусного врубов равен 0,9 – 1,0, для прямого – 1,0).

На рисунке 2 показано, как необходимо располагать отбойные шпуры при применении прямого цилиндрического вруба. Взрывание врубовых шпуров образует врубовую полость 1 и частично разрушит породный массив в зоне 2, что поможет работе отбойных шпуров. При последующем взрывании отбойных шпуров, расположенных по предложенной методике, между ними образуется радиальная трещина и давление газообразных продуктов взрыва раздавит породу, находящуюся в зонах 2 и 3. Также образуется зона 4, в которой порода будет разрушена действием отбойных шпуров.

Следовательно, при расчете параметров отбойных шпуров необходимо пользоваться следующими рекомендациями: определять удельный расход в отбойных шпурах по формулам, которые учитывают две свободные плоскости (врубную полость и плоскость забоя); располагать отбойные шпуры по окружности вокруг врубовой полости с центром, находящимся в центре вруба; выбирать расстояния от отбойных шпуров до врубовой полости и между собой таким образом, чтобы при их взрывании между ними могли образоваться трещины отрыва, т. е.  $W \geq a$ , что приведет к разрушению путем раздавливания породного кольца давлением газообразных продуктов взрыва.

Для упрощения и автоматизации расчета параметров буровзрывных работ была разработана компьютерная программа, позволяющая проектировать паспорта БВР в горизонтальных и наклонных горных выработках с применением прямого цилиндрического вруба.

В этой программе расчет параметров паспорта буровзрывных работ производится по новой методике, в которой, наряду с учетом горно-геологических (прочность, текстура пород, категория шахты по газу метану) и технических (площадь выработки, глубина заходки) условий сооружения горной выработки, используется отдельный подход к расчету каждой группы шпуров – врубовых, отбойных и оконтуривающих.

Разработанная программа состоит из блоков: ввода данных, расчета, анализа и вывода результатов расчета. Программа также содержит библиотеку рекомендуемых к применению ВВ и правила безопасности, требуемые для выбора всех необходимых параметров БВР [11].

Расчет параметров буровзрывных работ следует производить в такой последовательности:

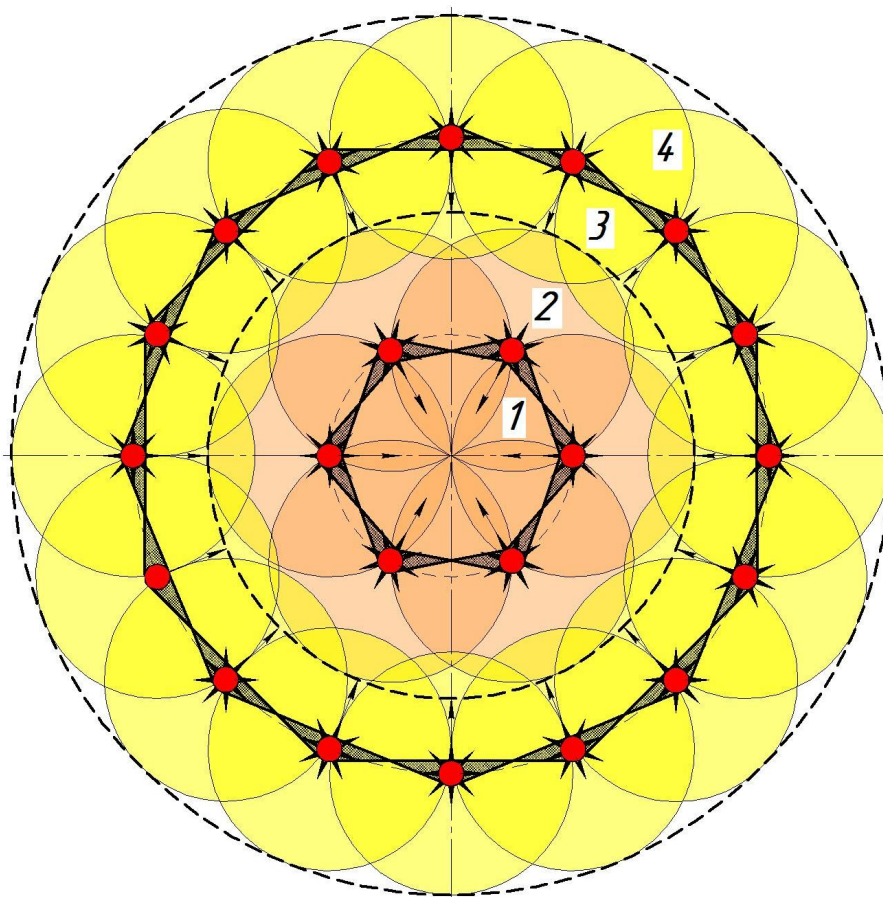


Рисунок 2 Схема взаимодействия врубовых и отбойных шпуров

- на основании исходных данных принять тип ВВ, длину и диаметр патронов (рекомендации по выбору прилагаются в сопроводительном тексте программы);

- рассчитать параметры прямого цилиндрического вруба: радиус вруба, длину центрального шпура, заряд в этом шпуре и остальных шпурах вруба. Все значения принять в соответствии с прилагаемыми требованиями правил безопасности;

- произвести расчет параметров контурного взрывания по методике, разработанной в ДонГТУ (принять диаметр патронов в оконтуривающих шпурах, определить их число, расстояние между ними и заряд в каждом шпуре);

- произвести расчет отбойных шпуров. Для этого используют

методику расчета: определить удельный расход и расход ВВ на весь цикл, количество отбойных шпуров и массу заряда в них с учетом двух открытых поверхностей.

По окончании расчетов результаты выводятся в итоговой таблице, которая включает в себя все параметры, необходимые для составления паспорта БВР: очередность взрывания зарядов, длины и заряды во всех шпурах, длина забойки, угол наклона шпуров к плоскости забоя.

Для удобства размещения шпуров в плоскости забоя в разработанной программе реализована возможность построения графической части паспорта БВР. Это позволяет по заранее рассчитанным параметрам паспорта равномерно распределить шпуры по плоскости забоя, учитывая необходимые правила ЕПБ.

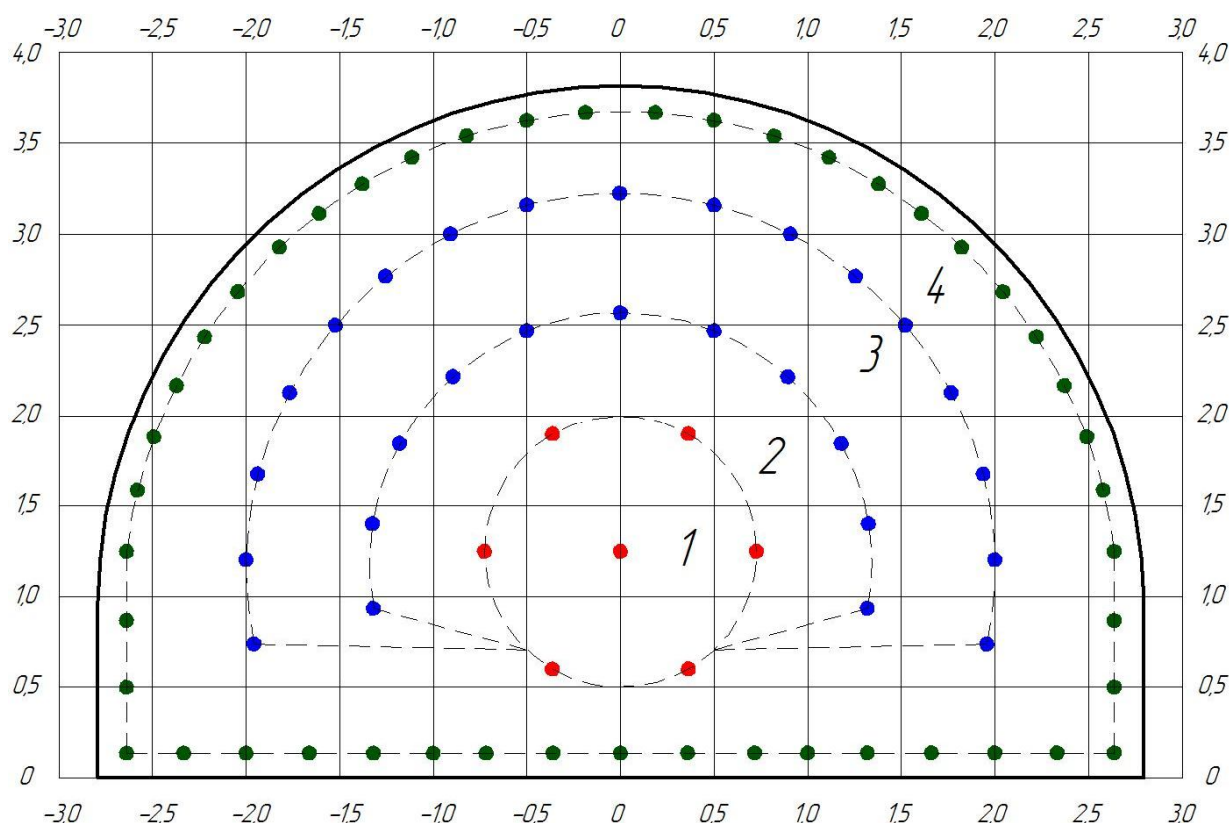


Рисунок 3 Демонстрационный пример работы программы по размещению шпуров в забое полевой горной выработки

Предложенная методика составления паспортов БВР базируется на раздельном расчете параметров шпуров в зависимости от условий их работы, что позволит повысить коэффициент использования шпура (к.и.ш.), уменьшить расход ВВ, повысить темпы сооружения горной выработки и снизить ее стоимость. Применение прямого цилиндрического вруба позволит: обеспечить высокую эффективность образова-

ния врубовой полости и работу взрыва с высоким к.и.ш., снизить вероятность повреждения крепи взрывом и уменьшить отброс породы от забоя. Использование предложенной программы позволит максимально упростить проектирование паспортов БВР в забоях полевых выработок и максимально автоматизировать заполнение таблиц с основными показателями БВР.

### Библиографический список

1. Плаkitкина, Л. С. Анализ состояния и прогноз развития угольной промышленности России до 2035 г. [Текст] / Л. С. Плаkitкина // Горный журнал. — 2015. — № 7.
2. Таразанов, И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2015 года. [Текст] / И. Г. Таразанов // Уголь. — 2013. — № 3.
3. Угольная промышленность Украины: факты, цифры, перспективы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ukrcoal.com/node/31>
4. Информационно-аналитические отчеты о развитии угольной промышленности Украины (за 2004-2014 гг.) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mvr.gov.ua>.
5. Суханов, А. Ф. Разрушение горных пород взрывом [Текст] / А. Ф. Суханов, Б. Н. Кутузов. — М. : Недра, 1983.

6. Шевцов Н. Р. Разрушение горных пород взрывом [Текст]: учебник для вузов / Н. Р. Шевцов, П. Я. Таранов, В. В. Левит, А. Г. Гудзь. — Донецк : ООО „Лебедь”, 2003.
7. Пат. 6624 Украина, МПК E21D 9/00, F42D 3/04. Прямой цилиндрический вруб / Г. Г. Литвинский, В. А. Яковенко, П. Н. Шульгин; заявитель и патентообладатель ДонГТУ; заявл. 19.10.2004; опубл. 16.05.2005, Бюл. № 5.
8. Литвинский, Г. Г. Расчет основных параметров прямого цилиндрического вруба для сооружения полевых горных выработок [Текст] / Г. Г. Литвинский, П. Н. Шульгин // Разработка рудных месторождений : сб. науч. тр. — Кривой Рог : КТУ, 2005. — С. 104–108.
9. Литвинский, Г. Г. Геомеханика взрыва на выброс [Текст] / Г. Г. Литвинский // Материалы международной конференции «Форум горняков-2006». — Днепропетровск : НГУ, 2006. — С. 54–65.
10. Литвинский, Г. Г. Обоснование расчетных схем геомеханики подземного взрыва [Текст] / Литвинский Г. Г. // ДонГТУ : сб. науч. тр. — Алчевск : ДонГТУ, 2007. — Вып. 24. — С. 24–34.
11. Шульгин П. Н. Разработка программы для автоматизации расчетов паспортов буровзрывных работ [Текст] / П. Н. Шульгин // Вестник. Прогрессивные технологии строительства, реконструкции, реструктуризации и безопасности в капитальном строительстве предприятий угольной промышленности. — Донецк : Норд-Пресс, 2008. — Вып. 9. — С. 245–248.

© Шульгин П. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. строительных геотехнологий  
ДонГТУ Литвинским Г. Г.,  
д.т.н., проф., зав. каф. строительство зданий, подземных сооружений и геомеханики  
ДонНТУ Борщевским С. В.*

Статья поступила в редакцию 11.11.16.

**к.т.н. Шульгин П. М.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### **ОБГРУНТУВАННЯ НОВОЇ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ПАСПОРТІВ БПР З ВИКОРИСТАННЯМ ЕОМ**

Наведено рекомендації щодо складання паспортів буропідричних робіт з роздільним розрахунком груп шпурів в залежності від їх дії, представлена програма для ЕОМ для розрахунку цих параметрів

**Ключові слова:** вибух, вруб, відбійні шпури, контурне підривання, паспорт буропідричних робіт, заряд, лінія найменшого опору.

**PhD Shulgin P. N.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

#### **SUBSTANTIATION OF A NEW DESIGN TECHNIQUE FOR PASSPORTS ON DRILLING-AND-BLASTING OPERATIONS USING COMPUTER**

The recommendations on making up passports on drilling-and-blasting operations with separate calculation of the blasthole groups, depending on their operation are given, a computer program to calculate these parameters is presented.

**Keywords:** explosion, kerf, rock holes, contour blasting, drilling-and-blasting passport, charge, line of least resistance.

УДК 622.232.8

к.т.н. Аверин Г. А.,  
Филонюк Ю. В.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, galagena1959@yandex.ru)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

*Предложена технологическая схема, приведены результаты исследований монтажно-демонтажных работ в очистных механизированных комплексах путем натурных наблюдений.*

**Ключевые слова:** монтаж, демонтаж, очистные механизированные комплексы, транспортировка, секция мехкрёпи.

**Постановка проблемы.** Длительный технико-экономический застой в развитии угольной отрасли Донбасса превратил ее производство в убыточное и дотационное, а сама она стала инвестиционно непривлекательной сферой, которая представляет определенную сложность и проблематичность выхода ее из кризиса. Стремление найти решение её проблем в организационно-управленческой, финансово-экономической, инвестиционно-инновационной сферах само по себе не приведет к её возрождению без радикального усовершенствования основных производственных процессов, слагающих технологию угледобычи.

В технологии добычи угля подземным способом основным производственным процессом являются очистные работы, уровень механизации которых зависит от степени применения очистных механизированных комплексов (ОМК), что в целом формирует технико-экономические показатели работы шахты.

Немаловажное значение в эффективном использовании ОМК имеют работы, связанные с их монтажом-демонтажом. Увеличение времени на выполнение этих работ и их частоту снижают продолжительность производительной эксплуатации мехкомплекса и его готовность к надежному использованию по назначению. Трудоемкость и продолжительность монтажа-демонтажа очистного оборудования зависит от совершенствования технологии ведения работ, повы-

шения уровней механизации, своевременной подготовки в требуемой технологической последовательности, бесперебойной доставки необходимых составляющих ОМК, совмещения во времени монтажно-демонтажных работ и т. д. [1].

**Цель исследования** – разработать и апробировать новую технологическую схему ведения демонтажа и монтажа очистного механизированного комплекса МКД90 в горно-геологических условиях шахты «Белореченская» ГП Центруголь.

Поставленная цель была решена на кафедре РМПИ ДонГТУ совместно с техническим персоналом шахты [2, 3].

Предложенная схема существенно отличается от уже существующих, так как предусматривает одновременное выполнение работ по демонтажу основных составляющих частей ОМК (секций крепи и скребкового конвейера), а также использование конвейера лавы как тягового устройства для демонтажа секции крепи и доставки её к месту погрузки в подготовительной выработке.

Сам процесс демонтажа ОМК при такой технологической схеме можно рассматривать как две основные составляющие операции, выполняемые поочередно в демонтажной камере: демонтаж и транспортирование секций крепи (6–8 секций); демонтаж решетчатого става скребкового конвейера (5–6 рештаков). Все демонтированное оборудование скребковым конвейером лавы достав-

ляется в подготовительную выработку для дальнейшего использования по назначению.

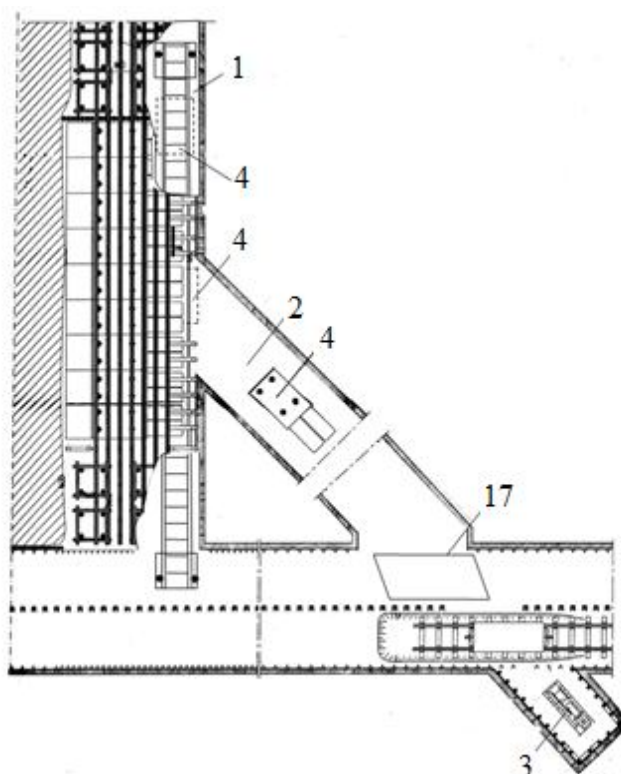
Данная технологическая схема предусматривает проведение комплекса подготовительных работ в демонтажной камере до начала производства демонтажа:

- увеличение сечения демонтажной камеры по высоте и ширине её путем подрубки комбайном кровли (почвы) пласта с последующей зачисткой и установкой временной крепи;
- заведение за перекрытие секций крепи деревянных или металлических ремонтин по длине демонтажной камеры при слабых, неустойчивых кровлях;
- демонтаж комбайна и навесного оборудования скребкового конвейера;
- проведение вспомогательного диагонального ходка на сопряжении демонтажной камеры с подготовительной выработкой для выдачи демонтированного оборудо-

дования (рис. 1);

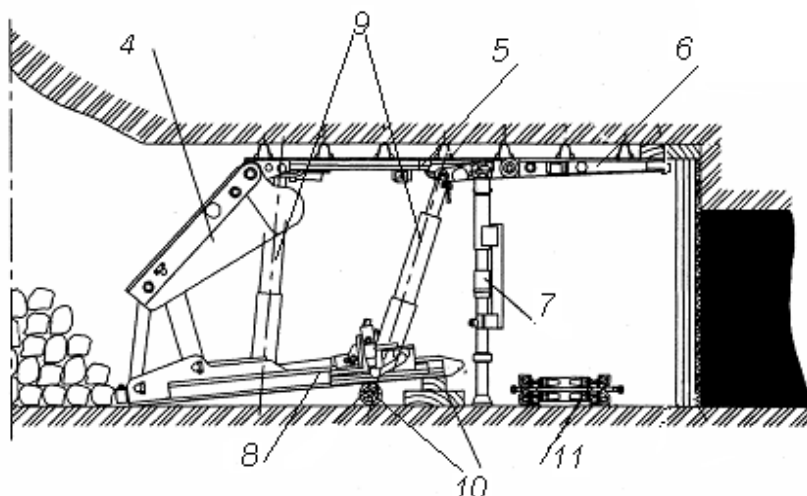
- установка вспомогательных лебедок, средств связи, сигнализации и т. д.

Процесс демонтажа секции мехкрепей 4 состоит из отдельных рабочих операций, выполняемых в определенной последовательности (рис. 2): снимают нагрузку распора с верхнего перекрытия 5 секции мехкрепей 4; отсоединяют и снимают козырек 6 верхнего перекрытия 5; под верхнее перекрытие 5 секции мехкрепей 4 устанавливают гидравлическую стойку с распором 7; производят поднятие передней части основания 8, используя гидравлические стойки 9 секции мехкрепей 4, на высоту, достаточную для размещения деревянных подкладок 10, с целью сочетания по высоте основания 8 с верхним краем решетчатого става скребкового конвейера 11; соединяют забойную сторону става конвейера 11 с концом штока гидродомкрата перед-



1 – демонтажная камера, 2 – вспомогательный диагональный ходок, 3 – тяговая лебедка, 4 – транспортируемая секция, 17 – монтажный полук

Рисунок 1 Транспортировка секции мехкрепей к месту погрузки

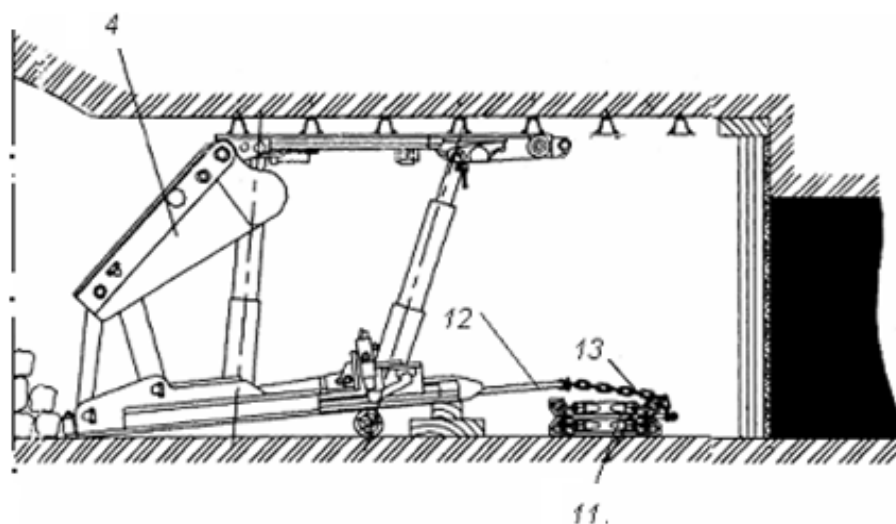


4 – секция мехкрепи, 5 – верхнее перекрытие, 6 – козырёк, 7 – гидравлическая стойка, 8 – основание секции, 9 – гидростойки крепи, 10 – деревянные подкладки, 11 – став конвейера

Рисунок 2 Начало демонтажа секции мехкрепи

вижки 12, который находится в выдвинутом положении, используя прицепное устройство 13 (рис. 3); осуществляют вытягивание секции мехкрепи 4 с одновременным размещением ее на ставе конвейера 11 путем сокращения штока гидродомкрата передвижки 12; осуществляют разворот секции мехкрепи 4 вдоль демонтажной

выработки 1 путем поочередного сокращения и выдвигания штока гидродомкрата передвижки 12, при этом также производят повторное рассоединение и соединение прицепного устройства 13, конец которого перемещают вдоль става скребкового конвейера 11 в направлении разворота секции мехкрепи (рис. 4).



12 – шток гидродомкрата передвижки, 13 – прицепное устройство.

Рисунок 3 Постановка секции мехкрепи на скребковый конвейер

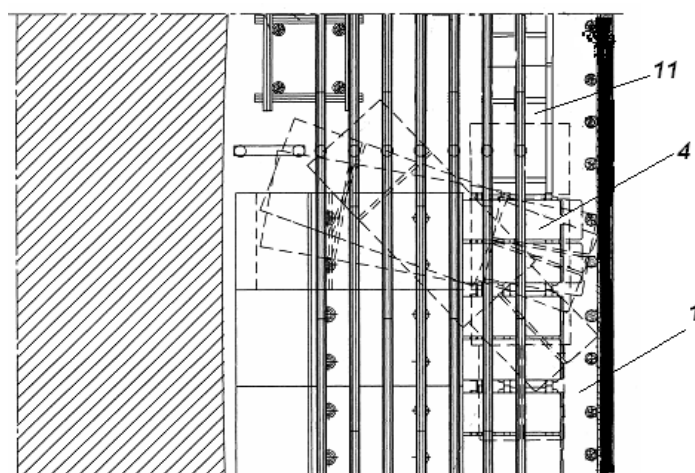
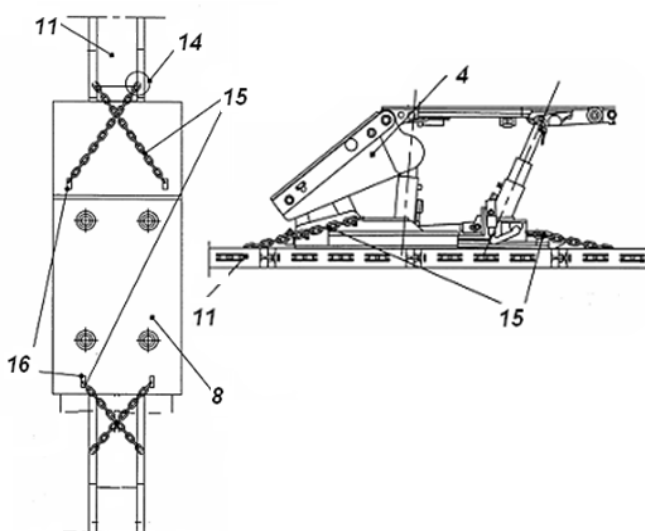


Рисунок 4 Разворот секции мехкрепь при постановке её на скребковый конвейер



14 – тяговая цепь скребкового конвейера, 15 – отрезки цепи с болтовыми соединениями,  
16 – монтажные устройства.

Рисунок 5 Способ крепления секции мехкрепь при ее перемещении

Перед перемещением секции мехкрепь 4 производят ее закрепление путем соединения с тяговой цепью 14 скребкового конвейера 11 отрезками цепи 15 и болтовыми соединениями за монтажные устройства 16 со стороны передней и задней части основания секции 8 (рис. 5).

С помощью работающего скребкового конвейера 11 перемещают секцию мехкрепь 4 вдоль демонтажной выработки 1 к

сопряжению ее с диагональным вспомогательным ходком 2 (см. рис. 1), где производят разъединение секции мехкрепь 4 с тяговой цепью скребкового конвейера 11 и перемещают ее на почву выработки лебедкой 3. Дальнейшее перемещение секции мехкрепь 4 производят по почве диагонального вспомогательного ходка 2 к демонтажному полку 17 лебедкой 3 (см. рис. 1).

Сокращение става скребкового конвейера 11, демонтаж и перемещение его секций к демонтажному полку 17 производят периодически после демонтажа 6–8-ми секций мехкрепи. Сокращение става скребкового конвейера 11 выполняют в соответствии с существующей технологией демонтажных работ; перемещения его секций к демонтажному полку осуществляют скребковым конвейером 11 к сопряжению демонтажной выработки 1 с диагональным вспомогательным ходком 2[1]. Дальнейшее перемещение секций конвейерного става производят по почве диагонального вспомогательного ходка 2 лебедкой 3 (см. рис. 1).

Проведенный хронометраж рабочих операций по демонтажу секций мехкрепи ЗКД90 с применением вышеприведенной технологической схемы показал, что за-

траты времени на демонтаж и доставку к месту погрузки одной секции звеном горнорабочих из трёх человек составлял не более 45 минут. В течение рабочей смены из демонтажной камеры извлекалось до 5 секций мехкрепи, за сутки – до 15 секций. Полный демонтаж лавы длиной 220 м был осуществлен за 14 суток, чем в два раза был сокращен норматив времени, затрачиваемый при существующих технологиях.

Особая перспектива применения предлагаемой технологической схемы демонтажа открывается при использовании её для перемонтажа лав, т. е. при одновременной доставке демонтированного оборудования ОМК в монтажную камеру новой лавы, для чего необходимо обеспечить проведение разрезной печи монтажной камеры в створе с демонтажной (рис. 6).

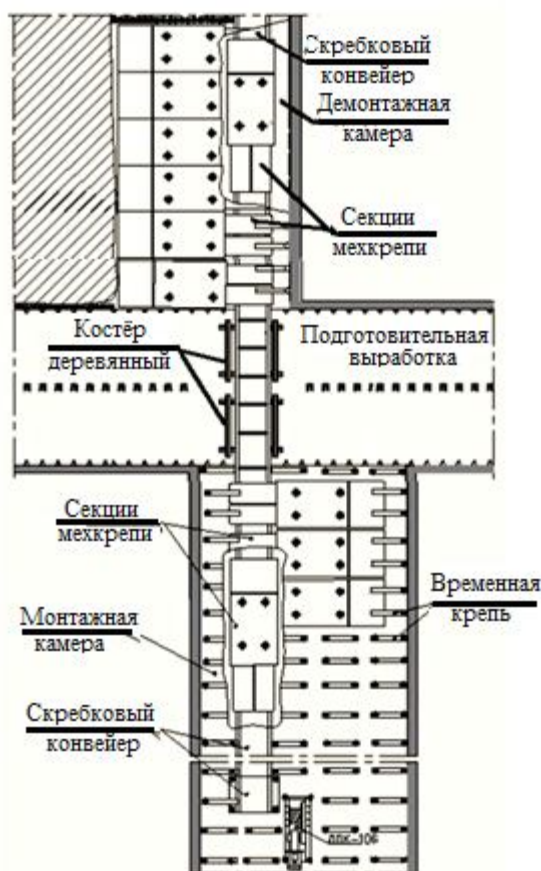


Рисунок 6 Перемещение составных частей механизированного комплекса с демонтажной в монтажную камеры

В этом случае возникает возможность наращивать став скребкового конвейера в монтажной камере, одновременно укорачивая его в демонтажной камере, и при этом обеспечивать доставку демонтированных секций мехкрепей и навесного оборудования скребковым конвейером к месту их монтажа, таким образом исключая затраты времени на дополнительные погрузочно-разгрузочные работы.

#### Выводы.

Использование предложенного способа монтажа-демонтажа ОМК позволит за счет совмещения рабочих операций во времени:

- использовать лавный скребковый конвейер в качестве тягового устройства;
- сократить длину конвейерного става в демонтажной камере;
- одновременно наращивать конвейер в монтажной камере;

– своевременно доставить демонтированные секции мехкрепей и навесное оборудование скребковым конвейером к месту монтажа;

– исключить затраты времени на дополнительные погрузочно-разгрузочные работы;

– отказаться от дополнительного монтажного оборудования;

– значительно ускорить процесс монтажно-демонтажных работ;

– повысить их безопасность и экономическую целесообразность.

Данная технологическая схема применима на полого-наклонных тонких и средней мощности угольных пластах, в лавах, оборудованных механизированными комплексами типа МКД90, КМТ, МДМ, МКДД всех типоразмеров, при отработке их как по простиранию, так и по падению, восстанию.

#### Библиографический список

1. *Монтаж и демонтаж очистных механизированных комплексов угольных шахт [Текст] : монография / А. Ф. Борзых и др. — Донецк : Норд-Пресс. — 265 с.*
2. Пат. 31450 Україна, МПК (2006) E21D 23/0. Спосіб демонтажу та переміщення секцій механізованого кріплення / А. В. Меріуцян, М. М. Сивак, Ю. В. Філонюк; заявитель и патентообладатель Донбасский гос. техн. ун-т. — № u200713412; заявл. 30.11.2007; опубл. 10.04.08, Бюл. № 7. — 3 с.: ил.
3. Пат. 30819 Україна, МПК (2006) E21D 23/00. Пристрій демонтажу та переміщення секцій механізованого кріплення на корисну модель / А. В. Меріуцян, М. М. Сивак, Ю. В. Філонюк; заявитель и патентообладатель Донбасский гос.техн. ун-т. — № u200713335; заявл. 30.11.2007; опубл. 11.03.08., Бюл.6 — 3с.:ил.

© Аверин Г. А.

© Филонюк Ю. В.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А., гл. маркшейдером ш. им. XIX съезда КПСС ГП «Центруголь» Кияненко Н. А.*

*Статья поступила в редакцию 18.11.16.*

**к.т.н. Аверин Г. А., Филонюк Ю. В (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНИХ РОБІТ ОЧИСНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ**

*Запропонована технологічна схема, наведені результати досліджень монтажно-демонтажних робіт в очисних механізованих комплексах, шляхом натурних спостережень, зроблені відповідні висновки та рекомендації.*

**Ключові слова:** монтаж, демонтаж, очисні механізовані комплекси, секція мехкріплення, транспортування.

**PhD Averin G. A., Asst. Filoniuk Yu. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**FLOW DIAGRAM OF ASSEMBLY AND DISASSEMBLY WORKS OF LONGWALL FACE INSTALLATION**

*The flow diagram is proposed and the results of assembly and disassembly works in longwall face installations are shown due to naturalistic observations.*

**Key words:** *assembly, disassembly, longwall face installations, transportation, powered support.*

УДК 622.83:622.023.23

к.т.н. Аверин Г. А.,  
к.т.н. Ларченко В. Г.,  
Корецкая Е. Г.

(ДонГТУ, г.Алчевск, ЛНР, [balgala@ukr.net](mailto:balgala@ukr.net))

## ВЛИЯНИЕ КРЕПКИХ ПОРОД НА МАКСИМАЛЬНЫЕ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ им. ФРУНЗЕ

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

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

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

Решить эту проблему возможно, используя вычислительные программные комплексы, которые позволяют достичь высокой точности определения параметров сдвижения земной поверхности, вызванного ведением очистных работ при отработке тонких и средней мощности угольных пластов [2]. При определении параметров сдвижений земной поверхности математическими моделями многие исследователи не учитывают слоистость, в том числе и чередование слабых и крепких слоев и прослоек, что оказывает существенное влияние на процесс и параметры сдвижения толщи горных пород над выработанным пространством [3].

**Цель исследования** – усовершенствовать прогноз максимальных оседаний зем-

ной поверхности с учетом крепких пород в подрабатываемой толще.

Для определения влияния крепких пород кровли в подработанной толще сопоставлены максимальные значения оседаний земной поверхности при различном отношении ширины выработанного пространства ( $D$ ) к глубине разработки ( $H$ ). Максимальные значения получены тремя методами: путем нивелирования железной дороги – фактические; моделирования методом конечных элементов; вычисления по нормативной методике [1], вызванные работой 8-й западной лавы пласта  $h_8$  в горно-геологических условиях шахты им. Фрунзе ш/у «Ясиновское» ООО ДТЭК «Ровенькиантрацит».

При исследовании моделированием созданы три математические модели: первая максимально учитывает фактические горно-геологические и горнотехнические условия подрабатываемой толщи, в которой содержание крепких пород составляет 25%; вторая – породные слои аргиллита заменены на песчаники и известняки (100% крепких пород); третья – породные слои песчаника и известняка заменены на аргиллиты (0% крепких пород), с учетом угольных пластов и прослоек.

Вычисления проводились на плоских моделях с помощью программного вычислительного комплекса «Лира», реализующего метод конечных элементов. Процесс оседания земной поверхности моделиро -

Таблица 1

Физико-механические характеристики угля и вмещающих его пород

Порода	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент сцепления, МПа	Угол внутреннего трения, °
Аргиллит	$2 \cdot 10^4$	0,2	5	30
Алеврит	$2 \cdot 10^4$	0,2	8	35
Песчаник	$2,5 \cdot 10^4$	0,2	8	35
Известняк	$2,5 \cdot 10^4$	0,2	8	35
Угольный пласт	$0,5 \cdot 10^4$	0,3	3,4	37

вался с учетом пошагового подвигания очистного забоя, шаг выемки – 10м. При этом поведение пород максимально приближено к упругопластическому деформированию. Модели учитывали увеличение объема разрушенных и обрушенных пород путем подстановок на место пошагово вынутых элементов новых элементов с прочностными свойствами, соответствующими обрушенным породам. Расчетная модель имеет размеры 3460 м по простиранию и 1200 м по глубине. Размеры конечных элементов назначались в зависимости от мощности угольных пластов, пропластков и вмещающих пород. Размер элемента в моделях по мощности составляет от 0,2 до 7,5 м. Размер элементов по простиранию – 5 м. Модели состоят из 162377 элементов. Тип конечных элементов – физически нелинейный, универсальный, прямоугольный конечный элемент (КЭ) плоской задачи (грунт). Критерий разрушения определялся теорией прочности Кулона-Мора для грунтов. Моделируемая подработанная толща пород была представлена чередующимися слоями различных типов пород, отличающимися между собой деформационными прочностными характеристиками, соответствующими стратиграфической колонке, полученной в результате бурения разведочных скважин. Физико-механические характеристики угля и вмещающих его пород приведены в таблице 1. Для моделирования изменения свойств обрушенных во

времени пород использован процессор «МОНТАЖ».

Пласт  $h_8$  сложного строения, средняя его мощность 1,4 м, угол падения на выемочном участке изменяется от 4° до 18°. Глубина лавы в среднем 950 м. Выемка антрацита проводилась механизированным комплексом 1КМТ-1,5. Скорость подвигания очистного забоя изменялась от 30 до 75 м/мес.

Фактические оседания земной поверхности определялись по данным наблюдений (геометрическое нивелирование) подработанной железной дороги, которые проводились во время работы 8 западной лавы (с октября 2000 г. по июнь 2002 г.). Расстояние между реперами составляло 30 м. Замеры проводили раз в месяц.

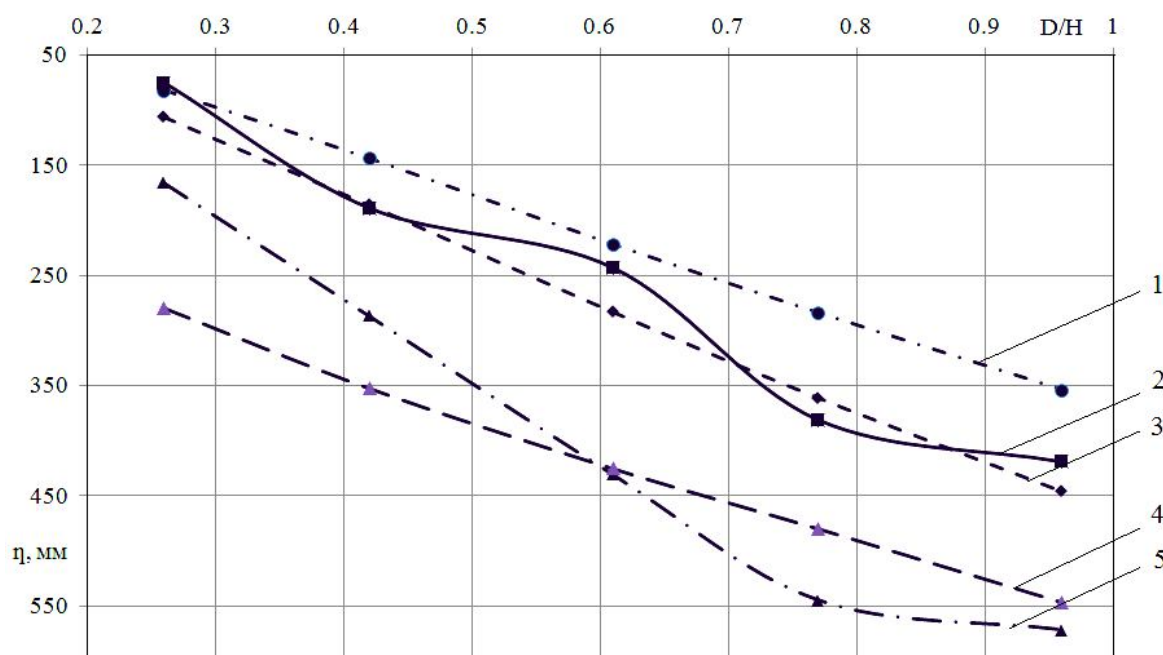
Результаты максимальных оседаний земной поверхности, полученные в результате исследований, представлены в таблице 2.

Фактические и полученные моделированием максимальные оседания в условиях 8-й западной лавы пласта  $h_8$  шахты им. Фрунзе примерно равны. В графиках, построенных по данным таблицы 2 (рис. 1), максимальное отклонение составляет не более 14%. Соответственно, данные, полученные в результате моделирования первой модели (25% крепких пород, ломаная 3 рис. 1), в дальнейшем можно использовать как фактические. Расчетные максимальные значения превышают фактические в среднем в 1,1 раза.

Таблица 2

Максимальные оседания земной поверхности, полученные различными методами

Отношение ширины выработанного пространства $D$ к глубине разработки $H$	Максимальные оседания, мм				
	Фактические	Нормативные	Полученные на моделях при содержании песчаника		
			0%	25%	100%
0.26	95	279	166	106	82
0.42	189	352	287	186	144
0.61	243	425	431	283	222
0.77	381	480	545	361	284
0.96	419	546	672	446	354



1, 3, 5- моделируемые, соответственно, для крепких пород 100%, 25%, 0%; 2 – фактические; 4 – нормативные.

Рисунок 1 Зависимость максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства  $D$  к глубине разработки  $H$  угольного пласта

Путем интерполяции зависимостей максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства к глубине разработки по данным моделей, содержащих 0%, 25% и 100% крепких пород в подрабатываемой

толще, получены зависимости максимальных оседаний при других процентных содержаниях крепких пород, представленных на рисунке 2.

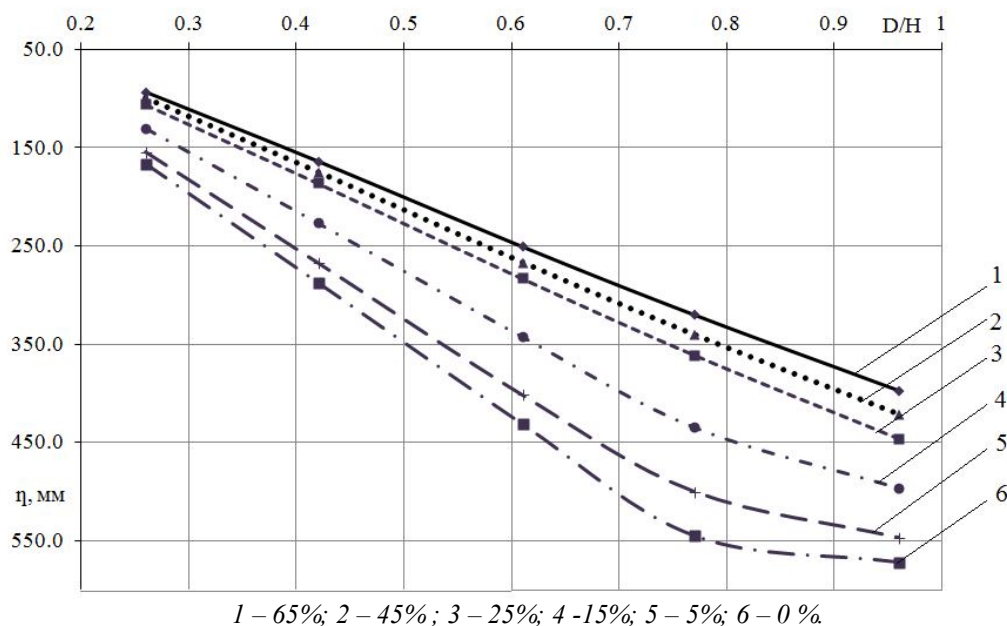


Рисунок 2 Зависимости максимальных оседаний земной поверхности от соотношения ширины выработанного пространства  $D$  к глубине  $H$  при разном содержании крепких пород в подработанной толще

Таблица 3

Поправочный коэффициент в максимальные оседания, вычисленные по методике [1], при различном процентном содержании песчаника в подработанной толще

D/H	Содержание крепких пород в земной толще, %						
	65%	55%	45%	35%	25%	15%	5%
0.26	3.0	2.9	2.8	2.6	2.6	2.1	1.8
0.42	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.6	1.3
0.61	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.2	1.1
0.77	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.1	1.0
0.96	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0

На основании сравнения максимальных оседаний, полученных на моделях и рассчитаны по нормативному документу [1], определены поправочные коэффициенты, позволяющие учесть содержание крепких пород (табл. 3), которые можно ввести в «Правила подработки зданий, сооружений и водных объектов при отработке угля подземным способом» [1].

#### Выводы

При получении максимальных оседаний земной поверхности необходимо учиты-

вать крепкие породы в подрабатываемом массиве.

Математическое моделирование с помощью программы «ЛИРА» позволяет создать расчетные схемы для прогнозирования максимальных оседаний земной поверхности, с помощью которых учитывается литология подрабатываемых пород.

Проведенные исследования сдвижения земной поверхности методами натурных наблюдений и математическим моделированием позволили получить поправочные коэффициенты, учитывающие процентное

содержание крепких пород, залегающих в горно-геологических условиях близлежащих шахт ООО ДТЭК «Ровенькиантрацит», при прогнозировании максимальных оседаний земной поверхности.

По максимальным оседаниям в соответствии с «Правилами...» [1] можно вычислить величины сдвижений и деформаций земной поверхности в точках главных сечений мульды.

### Библиографический список

1. ГСТУ 101.00159226.001– 2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом [Текст]. — Київ : Мінпаливенерго України, 2004. — С. 127.
2. Аверин, Г. А. Прогнозирование максимальных оседаний земной поверхности при различном содержании крепких породных слоев подработанного массива [Текст] / Г. А. Аверин, В. Г. Ларченко, Е. Г. Корецкая, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — 2016. — № 8. — С. 4–7.
3. Аверин, Г. А. Влияние слоистости на оседание земной поверхности [Текст] / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — 2010. — № 10. — С. 34–35.

© Аверин Г. А.

© Ларченко В. Г.

© Корецкая Е. Г.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А., гл. маркшейдером ш. «XIX съезда КПСС» Кияненко Н. А.*

*Статья поступила в редакцию 15.11.16.*

**к.т.н. Аверін Г. А., к.т.н. Ларченко В. Г., асс. Корецька О. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)  
ВПЛИВ МІЦНИХ ПОРІД НА МАКСИМАЛЬНІ ОСІДАННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХІ В  
УМОВАХ ШАХТИ ім. ФРУНЗЕ**

*Приведені результати дослідження максимальних осідань земної поверхні з урахуванням чергування міцних порід, виражені в процентному відношенні до глибини ведення очисних робіт, шляхом моделювання і натурних спостережень залізниці, що підробляється.*

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

**PhD Averin G. A., PhD Larchenko V. G., Koretskaia E. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)  
INFLUENCE OF HARD ROCKS ON MAXIMUM EARTH CRUST SUBSIDENCE IN THE  
CONDITIONS OF FRUNZE MINE**

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

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

УДК 622.837

к.т.н. Ларченко В. Г.,  
Маталкина Ю. А.  
(Дон ГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНЫХ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ОСНОВНЫХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

*Установлена зависимость максимальных оседаний земной поверхности от глубины подработки, размеров выработанного пространства и марок угля.*

**Ключевые слова:** максимальные оседания земной поверхности, глубина подработки, размеры выработанного пространства, зависимость.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Развитие горной науки, решение таких практических вопросов, как охрана вскрывающих, капитальных и подготовительных выработок, инженерных сооружений и природных объектов земной поверхности, выбор рациональных способов управления горным давлением, газодинамикой, водопритоками при разработке свиты угольных пластов, требуют знаний параметров процесса сдвижения горных пород, что многократно отмечалось многими учеными, в том числе [1-4].

Наиболее достоверно определить параметры сдвижений и деформаций подработанной толщи горных пород можно только комплексными натурными систематическими наблюдениями, включающими наблюдения за глубинными реперами, заложенными в подрабатываемой толще горных пород, в горных выработках и на земной поверхности.

Но ввиду труднодоступности и большой трудоемкости натурные наблюдения в подрабатываемой толще пород являются редкими, единичными [5, 6]. С целью многократного снижения трудоемкости и повышения точности натурных наблюдений авторами разработана конструкция автоматизированной наблюдательной станции [7], но в связи с создавшейся ситуацией заложить её не представляется возможным.

С увеличением глубины горных работ все больше сооружений, коммуникаций и

природных объектов попадает в зону влияния очистных работ, что, в соответствии с действующими «Правилами охраны...» [8], обязывает маркшейдерскую службу шахт с привлечением специальных организаций решать вопрос выбора эффективных мер охраны подрабатываемых объектов.

Поэтому определение зависимости параметров сдвижений и деформаций земной поверхности от основных определяющих факторов является актуальной научной и практической задачей для угольной отрасли.

### Постановка задачи.

Задача исследований – установить зависимости максимальных оседаний земной поверхности  $\eta_m$  от глубины подземной разработки угольных пластов, ширины выработанного пространства и марок угля, дифференцировать зависимость основных параметров сдвижений и деформаций горных пород от главных определяющих факторов.

### Изложение материала и его результаты.

Известно [8, 9], что чем больше глубина очистных работ  $H$ , тем меньше величины и скорость [10] сдвижений и деформаций земной поверхности, которые так же зависят от вынимаемой мощности пластов  $m$  [9, 11], ширины выработанного пространства  $D$  [12], угла падения пластов, крепости пород, литологии, степени нарушенности покрывающей толщи, марки угля, способа управления кровлей.

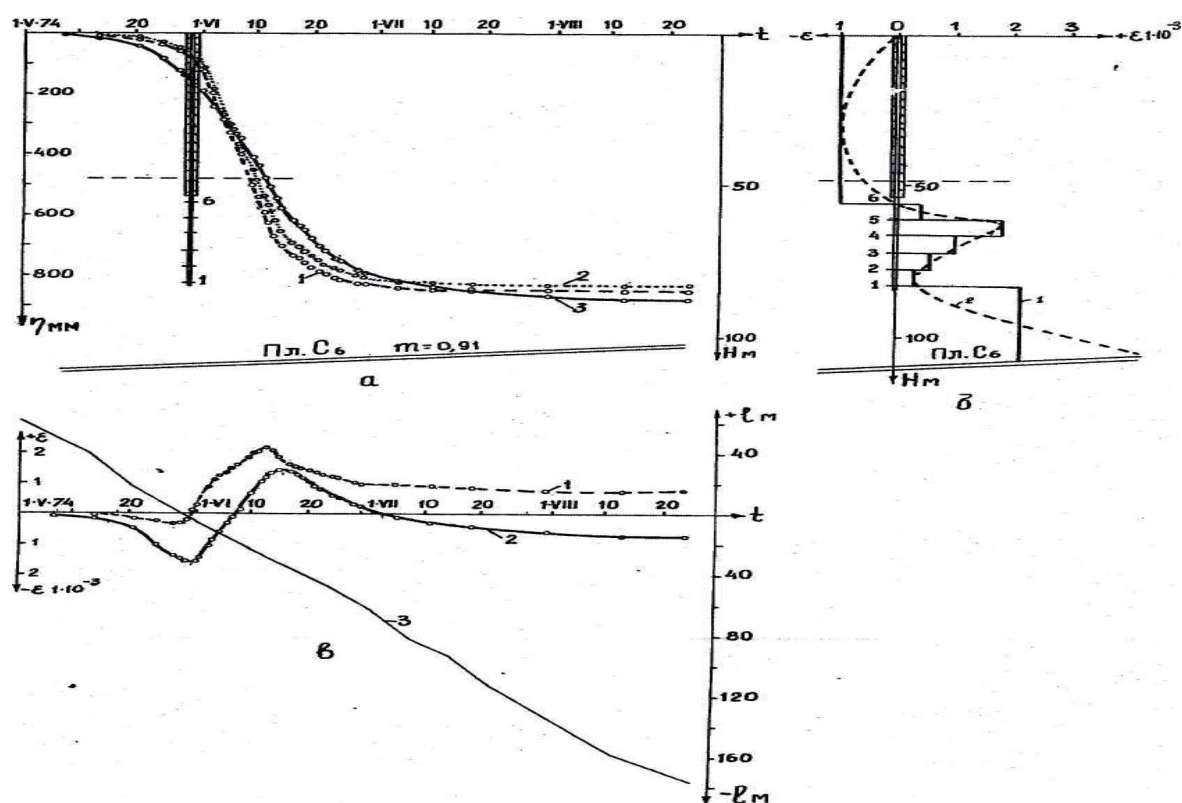
С увеличением глубины подработки увеличиваются размеры мульды сдвиге-

ния земной поверхности, вычисленные в соответствии с «Правилами охраны...» [8], продолжительность процесса сдвижения [10], а значит, все больше сооружений и коммуникаций попадает в зону влияния очистных работ.

Согласно «Инструкции...» [13] инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности обязательны при подработке уникальных и водных объектов, железных дорог, дамб, плотин, подкрановых путей, сварных трубопроводов. Это большой объем работ для маркшейдерской службы шахт. А всегда ли необходимы маркшейдерские наблюдения? Какие сдвижения и деформации испытывают земная поверхность и подрабатываемые объекты на больших глубинах и при различной степени подработанности?

В действующих «Правилах...» [8] приведена методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности при глубинах ее подработки до 1000 м. Но на ряде шахт очистные работы ведутся уже на значительно больших глубинах. Возникла практическая необходимость дифференцировать влияние глубины подработки из многофакторной зависимости максимального оседания земной поверхности.

Решение этой задачи выполнялось методом натурных инструментальных наблюдений на земной поверхности и за глубинными реперами, заложенными в пробуренные с земной поверхности вертикальные скважины в главном сечении мульды на участках плоского дна [6,10–12] (рис.1, 2).



а – оседания глубинных реперов (1, 2) и земной поверхности (3);  
б – остаточные деформации после окончания процесса сдвижения;  
в – деформации толщи карбона (1) и четвертичных отложений (2)  
над движущимся очистным забоем (3)

Рисунок 1 Графики сдвижений и деформаций подработанной толщи пород по станции № 13 шахты «Степная»

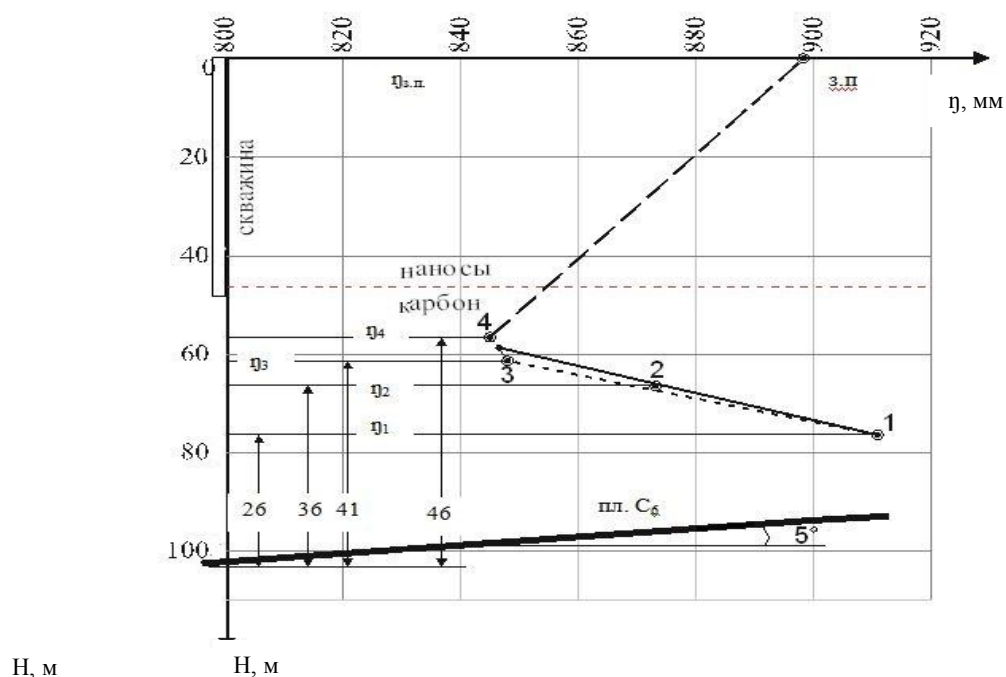


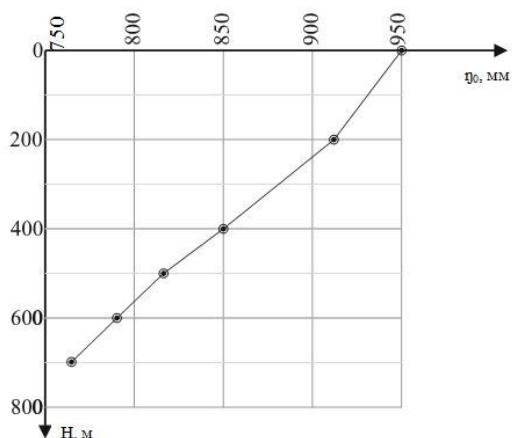
Рисунок 2 Максимальные оседания глубинных реперов по станции №12 шахта «Степная»

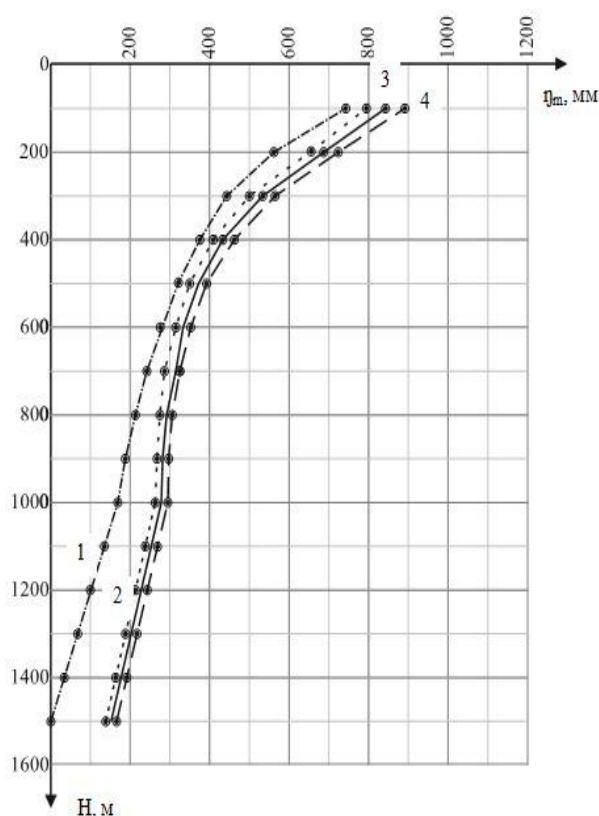
Также использовался метод конечных элементов [14] (рис. 3) и расчет максимальных оседаний  $\eta_m$  в соответствии с «Правилами охраны...» [8] в зависимости от глубины разработки  $H$  в интервале 100–1500 м и марок угля (относительной величины максимального оседания  $q_0$ ) при вынимаемой мощности пласта  $m=1$  м, угле падения  $\alpha=5^\circ$ ,  $D_1=200$  м,  $D_2=1200$  м (табл. 1, рис. 4).

Таблица 1

Зависимость  $\eta_m$  от  $H$ 

H, м	$\eta_m$ , мм			
	$q_0=0,75$	$q_0=0,8$	$q_0=0,85$	$q_0=0,9$
100	747	797	847	897
200	567	659	700	741
300	441	505	536	568
400	388	414	440	466
500	325	354	376	398
600	277	315	335	354
700	241	289	307	325
800	213	273	290	307
900	190	264	280	297
1000	169	262	278	295
1100	134	230	244	259
1200	102	202	215	227
1300	70	179	190	201
1400	31	159	169	179
1500	0	140	149	157

Рисунок 3 График зависимости максимального оседания  $\eta_0$  от глубины  $H$  (при условии полной подработки и  $m=1$  м)



1 – при  $q_0=0.75$ ; 2 – при  $q_0=0.8$ ;  
3 – при  $q_0=0.85$ ; 4 – при  $q_0=0.9$

Рисунок 4 График зависимости максимального оседания  $\eta_m$  от глубины подработки  $H$ , м

В районах залегания антрацитов  $q_0=0.75$ , углей марок Ж, К, ОС, Т, и Д-Г при отношении мощности четвертичных отложений  $h$  к глубине  $H$  менее или равном  $0.3$ ,  $q_0=0.8$ . При  $h/H > 0.3$  и марках угля Д-Г  $q_0=0.85$ . В Западном Донбассе и при повторных подработках в Львовско-Волынском бассейне  $q_0=0.9$ .

$$\eta_m = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $q_0$  – относительная величина максимального оседания [8];  $N_1$  и  $N_2$  – коэффициенты, характеризующие степень подработанности земной поверхности, по падению и по простиранию пласта соответственно.

$$N_1 = \sqrt{0.9 \left( \frac{D_1}{H} + \Delta D_n + \Delta D_s \right)}; \quad (2)$$

$$N_2 = \sqrt{0.9 \left( \frac{D_2}{H} + \Delta D_{np} + \Delta D_{opr} \right)}, \quad (3)$$

где,  $\Delta D_n$ ,  $\Delta D_s$ ,  $\Delta D_{np}$ ,  $\Delta D_{opr}$  – поправки к относительной длине лавы за счет целика соответственно со стороны падения, восстания, простирания и обратной простиранию. Значения поправок приведены в «Правилах охраны...» [8].

Также, в соответствии с «Правилами охраны...» [8], выполнен расчет максимальных оседаний  $\eta_m$  от глубины  $H$  и размеров выработанного пространства по линии падения пласта  $D_1=200$  м,  $D_1=300$  м,  $D_1=400$  м (две спаренные лавы по 200 м),  $D_1=500$  м (две спаренные лавы по 250 м),  $D_1=600$  м (две лавы по 300 м) в постоянных горно-геологических условиях: вынимаемая мощность пласта  $m=1$  м, угол падения  $\alpha=5^\circ$ , способ управления кровлей – полное обрушение, размер выработанного пространства по простиранию  $D_2=2000$  м,  $q_0=0.8$  (табл. 2, рис. 5).

Таблица 2

Зависимость  $\eta_m$  от  $D_1$  (по методике [8])

$H, \text{ м}$	$\eta_m, \text{ мм}, (q_0 = 0.80, D_2=2000\text{м})$				
	$D_1=$	$D_1=$	$D_1=$	$D_1=$	$D_1=$
	200 м	300 м	400 м	500 м	600 м
100	797	797	797	797	797
200	659	797	797	797	797
300	505	668	797	797	797
400	414	560	676	775	797
500	354	490	595	685	764
600	315	441	538	620	693
700	289	406	497	573	640
800	273	382	466	537	600
900	264	365	444	510	569
1000	262	355	428	490	545
1100	230	332	403	463	516
1200	202	312	380	438	490
1300	179	294	361	417	467
1400	159	277	343	398	446
1500	140	262	327	380	428

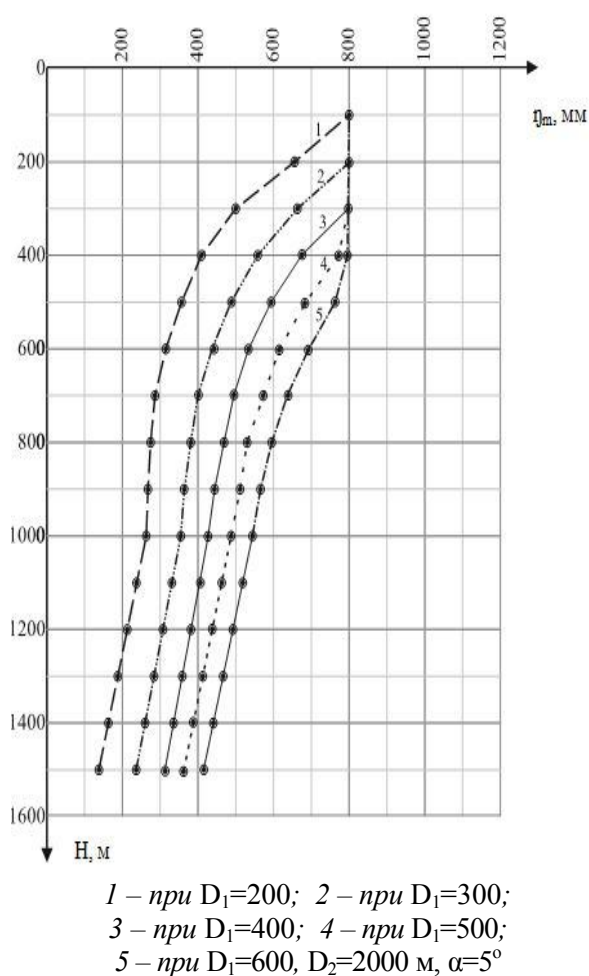


Рисунок 5 Графики зависимости максимального оседания  $\eta_m$  от глубины подработки  $H$  и размеров выработанного пространства  $D_1$

Этим мы исключаем влияние других определяющих факторов, что позволяет выделить зависимость максимально оседания  $\eta_m$  от марок угля, глубины  $H$  (рис. 4) и от длин лавы (или спаренных лав)  $D_1$  (рис. 5).

Анализ рисунков 1-5 и таблиц (1, 2) позволяет сделать выводы: подтверждается общепринятое положение, что с увеличением глубины разработки уменьшаются относительные величины максимальных оседаний земной поверхности; на малых глубинах (до 200 м) зависимость  $\eta_m$  от  $H$  проявляется в большей степени (рис. 1, 2); зависимость  $\eta_m$  от марок угля (степени метаморфизма пород) – незначительная (рис. 4); размеры выработанного пространства

больше влияют на величину оседания земной поверхности при глубине подработки 500 м (рис. 5); наибольшее влияние в принятых горно-геологических условиях на  $\eta_m$  оказывает глубина подработки  $H$ .

Причем влияние  $H$  на  $\eta_m$  является приоритетным, однозначным, но не линейным. При глубине 1000 м на рисунках 4 и 5 отмечается изменение количественной зависимости  $\eta_m$  от  $H$ , что свидетельствует о недостаточной изученности влияния  $H$  на  $\eta_m$  на больших глубинах. При длине лавы  $D_1=200$  м на глубине 1500 м при добыче антрацита ( $q_0=0,75$ ) процесс сдвижения от одной лавы не достигает земной поверхности ( $\eta_m=0$ ) (табл. 1, рис. 4, кривая 1).

Наклоны, кривизна и горизонтальные деформации земной поверхности прямо пропорциональны  $\eta_m$  и обратно пропорциональны длине полумульды  $L$ , которая, в соответствии с действующей методикой [8], пропорциональна  $H$ . То есть, зависимость деформаций земной поверхности будет аналогична зависимости  $\eta_m$  от  $H$ .

Из рисунка 4 видно, что в более крепких породах ( $q_0=0,75$ ) максимальные оседания  $\eta_m$  на всех глубинах меньше (кривая 1), чем в слабых породах при постоянных остальных факторах, что соответствует общепринятой теории. С увеличением глубины увеличивается и прочность пород, значит, должно более интенсивно уменьшаться относительное максимальное оседание, чего не скажешь по результатам анализа (табл. 1, рис. 4). Напрашивается вывод о недостаточной изученности влияния  $H$  на  $\eta_m$  и надежности действующей методики расчета [8] при больших глубинах разработки угольных пластов.

#### Выводы и направление дальнейших исследований.

На основании проведенных исследований установлена зависимость максимальных оседаний земной поверхности от глубины разработки угольных пластов, длин лав, марок угля. Результаты исследований указывают на необходимость качественных натурных наблюдений при подработ-

ке земной поверхности на больших глубинах или мониторинга сдвижений и деформаций с помощью автоматизированной наблюдательной станции [7], необходимость совершенствования методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций [8] при глубинах более 1000 м.

В дальнейшем планируется выполнить расчет максимальных оседаев  $\eta_m$  для всех марок угля аналогично таблице 2 и рисун-

ку 5 при различных длинах лав, подготовить номограмму  $\eta_m$  и дать результаты в табличной форме, что будет полезно для маркшейдеров-производственников и студентов при планировании очистных работ под сооружениями и коммуникациями земной поверхности.

### Библиографический список

1. Авершин, С. Г. Некоторые задачи теории сдвижения горных пород под влиянием подземных разработок [Текст] / С. Г. Авершин // Сдвижение горных пород. — Ленинград : ВНИМИ, 1963. — С. 9–19.
2. Акимов, А. Г. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений [Текст] / А. Г. Акимов, В. Н. Земисев. — М. : Недра, 1970. — 224 с.
3. Земисев, В. Н. Расчеты деформаций горного массива [Текст] / В. Н. Земисев. — М. : Недра, 1973. — 144 с.
4. Кулибаба, С. Б. Прогноз сдвижений и деформаций подрабатываемого породного массива [Текст] / С. Б. Кулибаба // Уголь Украины. — 2000. — № 1. — С. 41–43.
5. Канлыбаева, Ж. М. Метод наблюдения за сдвижением горных пород в толще массива с помощью радиоактивных изотопов [Текст] / Ж. М. Канлыбаева, Ф. И. Клиновицкий, М. К. Сарсенов. — Алма-Ата : Наука, 1973. — 163 с.
6. Ларченко, В. Г. Сдвижение и деформации подработанной толщи горных пород [Текст] / В. Г. Ларченко // Изв. вузов: Горный Журнал. — 1977. — № 10. — С. 36–39.
7. Ларченко, В. Г. Автоматическая наблюдательная станция для мониторинга сдвижений и деформаций горных пород [Текст] / В. Г. Ларченко, О. М. Куценко, Ю. А. Маталкина // Сб. науч. трудов Дон ГТУ. — 2015. — Вып. 1 (44). — С. 49–55.
8. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом [Текст] // М-во палива та енергетики України. — Київ, 2004. — 127 с.
9. Ушаков, И. Н. Маркшейдерское дело [Текст] : учебник для вузов, часть 2 / И. Н. Ушаков, А. Н. Белоликов, В. Н. Земисев и др. — М. : Недра, 1989. — 437 с.
10. Ларченко, В. Г. Влияние глубины разработки на скорость и продолжительность процесса сдвижения горных пород в условиях Западного Донбасса [Текст] / В. Г. Ларченко // Добыча угля подземным способом. — М. : ЦНИЭН уголь, 1977. — № 12. — С. 46–48.
11. Ларченко, В. Г. Практические результаты исследований деформации земной поверхности при отработке свиты пологих угольных пластов [Текст] / В. Г. Ларченко // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2009». — Днепропетровск : НГУ, 2009. — С. 222–230.
12. Ларченко, В. Г. Зависимость максимальных сдвижений и деформаций от ширины выработанного пространства [Текст] / В. Г. Ларченко, Е. В. Коваленко, Ю. А. Маталкина // Сб-к научных трудов ДонГТУ. — 2016. — Вып 3(46). — С. 30–35.
13. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах [Текст]: Інструкція / М. Є. Копланець та ін. — Донецьк : ТОВ «А...», 2001. — 264 с.
14. Ларченко, В. Г. Определение зависимости параметров сдвижений и деформаций подработанной толщи пород от определяющих факторов методом конечных элементов [Текст] / В. Г. Ларченко, О. А. Черных // Вестник МАНЭБ. — Санкт-Петербург, 2006. — № 22. — С. 16–24.

© Ларченко В. Г.

© Маталкина Ю. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,  
гл. маркшейдером ш. «XIX съезда КПСС» Кияненко Н. А.*

*Статья поступила в редакцию 22.11.16.*

**к.т.н. Ларченко В. Г., Маталкіна Ю. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ ЛНР)**

**ЗАЛЕЖНІСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО ОСІДАННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ВІД ОСНОВНИХ  
ВИЗНАЧАЛЬНИХ ЧИННИКІВ**

*Встановлено залежність максимальних осідань земної поверхні від глибини підробки, розмірів виробленого простору і марок вугілля.*

**Ключові слова:** максимальні осідання земної поверхні, глибина підробки, розміри виробленого простору, залежність.

**PhD Larchenko V. G., Matalkina Yu. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**DEPENDENCE OF MAXIMUM SURFACE SUBSIDENCE ON MAIN DETERMINING FAC-  
TORS**

*The dependence of the maximum Earth's surface subsidence has been determined on the depth of undermining, volume of worked-out area and coal brands.*

**Key words:** maximum surface subsidence, undermining depth, volume of worked-out area.



**МЕТАЛЛУРГИЯ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

---

---

**МЕТАЛУРГІЯ  
ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

---

---

**METALLURGY  
AND MATERIAL SCIENCES**



УДК 669.054.8

д.т.н. Новохатский А. М.,

к.т.н. Диментьев А. О.,

Филиппенко Д. Г.,

Блинов А. М.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, tafadimas@mail.ru)

**ОКУСКОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

*Среди проблем в металлургической промышленности особое место занимает вопрос утилизации железосодержащих техногенных отходов. В статье рассмотрен абсолютно новый путь экстракции железа из колошниковой и конвертерной пыли, шламов и окалины.*

**Ключевые слова:** железосодержащие отходы металлургических предприятий, колошниковая пыль, шлам, конвертерная пыль, окалина, железозуглерод, доменная печь.

Ежегодно в черной металлургии образуется огромное количество железосодержащих отходов, которые негативно влияют на экологическую обстановку территорий, находящихся вблизи производственных комплексов. К отходам доменного производства относятся колошниковая пыль и шламы. К железосодержащим отходам конвертерного производства относится конвертерная пыль. На Алчевском металлургическом комбинате за год только с одной работающей доменной печи образуется 42000 т колошниковой пыли и 35000 т шлама, которые вывозятся на прилегающие территории комбината и сваливаются на шламовых отвалах.

Железосодержащие шламы, полученные при водной очистке газа, в настоящее время перерабатываются двумя путями:

- 1) утилизируются в агломерационном цехе;
- 2) захороняются или складируются в отвалах и в шламонакопителях.

Наиболее простым является последний путь, который широко используется всеми металлургическими заводами СНГ. В то же время вся пыль и шламы представляют большую угрозу окружающей среде. Это связано, во-первых, с их мелкодисперсным характером – до 80% частиц размером менее 1мкм. Они легко выносятся в атмосферу и вымываются водой, загрязняя почву. Помимо этого, шламонакопители занимают огромные территории земли, которая не может

быть использована в сельском хозяйстве. К тому же пыль и шлам сталеплавильных цехов содержат многократно превышающую предельно допустимую концентрацию чрезвычайно токсичных и хорошо растворимых в воде цианидов (соли синильной кислоты), радониды и другие вредные для человека соединения и элементы, как то: Pb, Cd, As, F и шестивалентный Cr. Поэтому захоронение требует специальной дорогостоящей дезактивации этих отходов [1].

Более правильным решением является утилизация железосодержащих отходов на агломашине путем добавления их к шихте.

Исследования, проведенные на шламах различных металлургических предприятий СНГ, показали, что их добавка в агломерационную шихту приводит к плохой спекаемости агломерата. В результате чего основная масса шлама, добавленного изначально, уходит в возврат, а часть удаляется вместе с отходящими газами в атмосферу.

Шламы содержат значительное количество не только полезных компонентов, но и нежелательного цинка, который сокращает срок службы футеровки доменной печи. Поэтому потребление указанных шламов ограничено.

Другая причина ограничения расхода этих шламов диктуется спецификой агломерационного процесса, где они окусковываются в составе агломерационной шихты. Поскольку шламы имеют повышенную

влажность, то агломерационная шихта на их основе приобретает грязевидное состояние, из-за чего ввод этих шламов в шихту ухудшает ее газопроницаемость [2]. Основная причина – ухудшение получения и разрушаемость гранул в зонах сушки и переувлажнения. В результате ухудшается производительность агломерационных машин и качество агломерата.

Однако количество отходов настолько велико, что таким образом утилизация не позволяет переработать весь их объем. Это приводит к необходимости поиска альтернативных способов окускования вторичного сырья.

При использовании в аглошихте замасленной окалины масса, выносимая из спекаемого слоя и осаждающаяся на элементах мультициклонов и лопатках роторов эксгаустеров, содержит большое количество масел. В результате чего происходит залипание пылью элементов мультициклона. При этом возрастает скорость движения газа и, соответственно, снижается эффективность его использования в батарейных циклонах [3]. Обычно, на практике, система газоочистки агломерационных машин отключена.

Колошниковая пыль также в основном используется в агломерационном производстве. Данный отход доменного производства из бункеров-сборников сухих пылеуловителей обычно загружается в железнодорожные вагоны, в которых вывозится на рудный двор аглофабрики. В процессах транспортировки и перегрузок колошниковой пыли имеют место большие потери (<15 %), которые загрязняют территории вблизи металлургического ком-

плекса. Это вынуждает вести поиск более совершенных технических решений по ее транспортировке и подготовке к утилизации. Помимо проблем с транспортировкой еще одним недостатком колошниковой пыли является плохая спекаемость ее в агломерационном процессе [4].

Конвертерная пыль, которая имеет абсолютно другой химический состав и мелкодисперсность, нашла свое применение в агломерации. Ее, так же, как и колошниковую пыль, добавляют в агломерационную шихту. Отход сталеплавильного производства плохо комкуется, а в слое шихты портит газопроницаемость, в результате чего производительность агломашины падает, а выбросы в атмосферу увеличиваются.

В условиях лаборатории кафедры Металлургии черных металлов Донбасского государственного технического университета были проведены опытные спекания смесей угольной шихты с железосодержащими отходами с целью оценить возможность получения железоуглерода из поддобной шихты [5].

Было проведено спекание 4 смесей:

- 90 % угольной шихты и 10 % окалины;
- 90 % угольной шихты и 10 % колошниковой пыли;
- 90 % угольной шихты и 10 % конвертерной пыли;
- 100 % угольной шихты.

В таблице 1 представлен химический анализ золы полученных спеков, их реакционная способность и горячая прочность (показатели, необходимые для доменной плавки).

Таблица 1

Характеристики полученных спеков

Состав шихты для спекания	Ac	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Реакц. способ.	Горячая прочность
90% угольной шихты и 10% окалины	28,1	3,26	0,75	29	13,3	51,3	0,53	4,5	72,7

Продолжение таблицы 1

90% угольной шихты и 10% колошн. пыли	35,8	6,69	1,36	35,1	14,7	38,6	0,21	56,1	23,5
90% угольной шихты и 10% конвер. пыли	41,4	7,98	1,57	29	12,4	42,6	0,39	67,4	30,7
100% угольной шихты	16,9	3,41	1,09	49,5	23	19,4	0,23	60,1	38,5

Как видно из таблицы 1, спеки, полученные из смесей угольной шихты и железосодержащих отходов, характеризуются высоким содержанием золы (30–40 %), при этом содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в ней составляет 40–50 %. Их реакционная способность и горячая прочность, кроме смеси с окалиной, практически такая же, как у спека, полученного из угольной шихты.

В связи с этим можно предположить, что железоуглерод, полученный из смеси угольной шихты с колошниковой или конвертерной пылью, можно будет грузить в доменную печь в определенных пропорциях с остальными шихтовыми материалами, поэтому необходимо провести промышленные эксперименты по получению железоуглерода в коксовых батареях.

Так как добавка колошниковой пыли в коксовую шихту практически не влияет на качество полученного кокса, были прове-

дены эксперименты по оценке возможности спекания смесей угольной шихты и колошниковой пыли в соотношениях:

- 40 % колошниковой пыли и 60 % угольной шихты;
- 60 % колошниковой пыли и 40 % угольной шихты;
- 80 % колошниковой пыли и 20 % угольной шихты.

Эксперименты были разделены на две части:

- в начальных способах полученную смесь насыпали в металлический стакан, в котором происходило спекание;
- для увеличения удельного веса смесь спрессовывали в металлическом стакане, после чего помещали в печь и спекали.

Полученные спеки имели форму цилиндра диаметром 60 мм и высотой 60 мм. В таблице 2 представлена их механическая прочность.

Таблица 2

Механическая прочность спеков из разных смесей

	Неспрессованный	Спрессованный
40% колошниковой пыли 60% угольной шихты	2200 кг / кусок (77 кг/см <sup>2</sup> )	2800 кг / кусок (100 кг/см <sup>2</sup> )
60% колошниковой пыли 40% угольной шихты	180 кг / кусок (6,3 кг/см <sup>2</sup> )	100 кг / кусок (3,5 кг/см <sup>2</sup> )
80% колошниковой пыли 40% угольной шихты	Материал рассыпался	

При спекании шихты с 80% содержанием колошниковой пыли после завершения эксперимента цельных кусков получено не было, поэтому данную шихту использо-

вать для получения железоуглерода нецелесообразно.

Как видно из таблицы 2, для производства прочного железоуглерода более целесообразно использовать шихту с содержа-

нием колошниковой пыли 40%, при этом проведенные аналогичные испытания по определению механической прочности куска кокса показали, что она составляет около  $16 \text{ кг/см}^2$ , что в 5 раз меньше, чем у данного железуглерода.

Таким образом, лабораторные исследования показали, что железуглерод, полученный из 40% колошниковой пыли и 60% угольной шихты, может быть загружен в доменную печь, но для более точных выводов необходимо провести промышленные эксперименты.

В таблице 3 представлен химический состав железуглерода, который получен из шихты с содержанием колошниковой пыли 40% и 60%. На основе данных в таблице 3 были проведены расчеты по опре-

делению количества железа в материале, массы и основности шлака при плавлении золы железуглерода. Результаты расчетов характеристик продуктов плавки приведены в таблице 4.

На железуглероде, который получен из спрессованной шихты при смеси 60% колошниковой пыли и 40% угля, визуально видно металлическое железо, а на поверхности аналогичного спека, но при смеси 40% колошниковой пыли и 60% угольной шихты, частично присутствует ржавчина. На основании данных, в таблице 4 построен график изменения расчетной массы шлака при различном содержании колошниковой пыли в шихте, который представлен на рисунке 1.

Таблица 3

Химический состав железуглерода

Состав шихты для спекания	Ac	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P	S
60% угольной шихты и 40% колошн. пыли	53,9	9,19	1,33	17,4	5,25	64,8	0,13	0,095	0,6
40% угольной шихты и 60% колошн. пыли	66,5	9,64	1,35	14,5	3,89	66,5	0,12	0,082	0,62
<b>Спрессованная</b> 60% угольной шихты и 40% колошн. пыли	49,9	9,1	1,35	17	5,33	62,6	0,12	0,092	0,77
<b>Спрессованная</b> 40% угольной шихты и 60% колошн. пыли	69,4	9,71	1,33	14,4	3,82	67,6	0,13	0,067	0,57

Таблица 4

Характеристики продуктов плавки из одной тонны железуглерода

Состав шихты для спекания	т материала /т чистого железа	т материала /т шлака	Основность шлака	Основность шлака по 4 компонентам
60% угольной шихты и 40% колошниковой пыли	0,312-0,349	0,164-0,179	0,53-0,54	0,46-0,47
40% угольной шихты и 60% колошниковой пыли	0,442-0,469	0,196-0,204	0,66-0,67	0,6-0,61

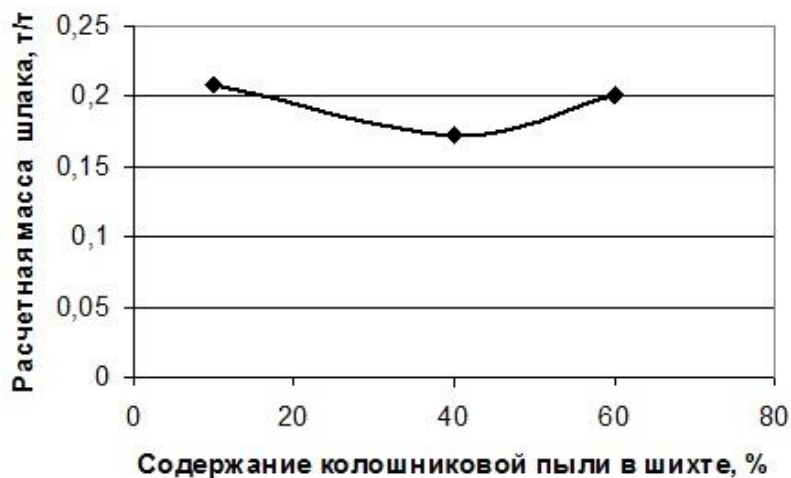


Рисунок 1 Изменение расчетной массы шлака из золы железоуглерода при различном содержании колошниковой пыли в шихте для его получения

Также определена плотность спека из смеси 60% колошниковой пыли и 40% угольной шихты, которая составляет при неспрессованном материале в стакане  $0,973 \text{ г/см}^3$  ( $\text{т/м}^3$ ), а при спрессованном –  $1,103 \text{ г/см}^3$  ( $\text{т/м}^3$ ), т. е. на 11,8 % больше.

Однако необходимо провести промышленные эксперименты по получению железоуглерода в коксовых батареях для уточнения его характеристик и оценки возможности спекания.

#### Выводы:

1. Железосодержащие техногенные отходы нецелесообразно спекать на агломашине, поскольку теряется ее производительность и наблюдается повышенное количество выброса пыли, которая оседает на близлежащие населенные пункты.

2. На основании проведенных исследований получены спеченные брикеты, которые можно использовать в качестве дополнительной шихты в доменном производстве.

3. При ощущении дефицита шихты в доменном производстве экономически выгодно использовать техногенные металлургические отходы.

4. На основании проведенных экспериментов определено, что смесь угольной шихты с колошниковой или конвертерной пылью в определенных пропорциях можно использовать для получения железоуглерода, при этом качество данного продукта будет незначительно отличаться от обычного кокса.

#### Библиографический список

1. Летимин, В. П. Пыль и илам газоочисток сталеплавильных цехов и анализ путей их утилизации [Текст] / В. Н. Летимин // *Черная металлургия*. — 2009. — № 11. — С. 72–76.
2. Коршиков, Г. В. Поведение цинка при спекании доменного и конвертерного шламов с концентратами КМА [Текст] / Г. В. Коршиков, С. Л. Зевин, В. В. Греков // *Сталь*. — 2003. — № 5. — С. 2–6.
3. Кравцов, В. М. Использование замасленной окалины прокатных цехов в агломерационной шихте металлургического завода [Текст] / В. М. Кравцов, П. А. Горский, И.Л. Холмецкий // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 1974. — № 4. — С. 5–6.

4. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии [Текст] / А. И. Толочко и др. — Челябинск: Металлургия, 1990. — 152 с.

5. Филиппенко, Д. Г. Развитие теории и технологии переработки железосодержащих техногенных отходов [Текст] / Д. Г. Филиппенко // Повышение эффективности металлургического производства : тез. докл. XXIV обл. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию ЛГТУ, март 2016 г. — Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2016. — С. 34.

© Новохатский А. М.

© Диментьев А. О.

© Филиппенко Д. Г.

© Блинов А. М.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,  
нач. доменного цеха ПАО «АМК» Диментьевым В. И.**

Статья поступила в редакцию 17.11.16.

**д.т.н. Новохатський О. М., к.т.н. Дімент'єв О. О., Філіппенко Д. Г., Блінов О. М.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, [tafadimas@mail.ru](mailto:tafadimas@mail.ru))

#### **ЗГРУДКУВАННЯ ЗАЛІЗОВІСНИХ ВІДХОДІВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ**

Серед проблем в металургійній промисловості особливе місце займає питання утилізації залізовісних техногенних відходів. У статті розглянуто абсолютно новий шлях екстракції заліза з колошникового і конвертерного пилу, шламів і окалини.

**Ключові слова:** залізовісні відходи металургійних підприємств, колошниковий пил, шлам, конвертерний пил, окалина, залізовуглець, доменна піч.

**Doctor of Tech.Sc. Novohatskyi A. M., PhD Dimentiev A. O., Filippenko D. G., Blinov A. M.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, [tafadimas@mail.ru](mailto:tafadimas@mail.ru))

#### **AGGLOMERATION OF IRON-BEARING WASTES OF FERROUS METALLURGY**

Among the problems in the steel industry a special role is given to the issue of recycling the iron-bearing wastes. The article deals with a completely new way of extracting iron from the blast furnace and converter dust, sludge and sinter.

**Key words:** iron-bearing wastes of steel industry, blast-furnace dust, sludge, converter dust, sinter, iron-carbon, blast furnace.

УДК 621.746.5.047

к.т.н. Куберский С. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),  
Максаев Е. Н.  
(ПАО «АМК», г. Алчевск)

## ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ВОРОНКООБРАЗОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

*Проанализировано влияние условий подготовки металла к непрерывной разливке и основных параметров процесса на образование воронок при истечении металла из сталеразливочного и промежуточного ковшей, а также количество вовлекаемых в вихревые потоки неметаллических включений. Предложены рекомендации, способствующие повышению чистоты разливаемой стали по неметаллическим включениям и выхода годного, снижению вероятности образования дефектов, возникновения аварийных ситуаций и прорывов металла под кристаллизатором.*

**Ключевые слова:** непрерывная разливка, истечение, ковш, вихревые потоки, воронка, цикл разливки, температура, остаток металла, дефекты, качество, выход годного.

Одним из основных источников загрязнения стали во время разливки на МНЛЗ является массоперенос неметаллических включений с покровного шлака сталеразливочного и промежуточного ковшей в кристаллизатор.

При опорожнении сталеразливочного ковша в процессе разливки плавки поток металла над разливочным отверстием постепенно приобретает вихревой характер и возможно вовлечение поверхностного шлака в металлопроводку. Поэтому в момент появления шлака в струе металла разливку из сталеразливочного ковша прекращают. На основании ранее проведенных исследований [1, 2] установлено, что вероятность возникновения аварийных ситуаций увеличивается в периоды окончания и начала разливки плавки из сталеразливочного ковша, а также значительно снижается качество непрерывнолитых слабов, полученных в эти периоды. Основной причиной такой ситуации является попадание ковшевого шлака в кристаллизатор, что вызывает изменение химического состава находящейся на его поверхности шлакообразующей смеси (ШОС) и, соответственно, ее свойств, а также негативно влияет на процесс формирования оболочки непрерывнолитой заготовки.

Важным показателем, влияющим на выход годной стали в технологической схеме получения непрерывнолитой заготовки, является обеспечение минимального остатка металла в используемых технологических емкостях по окончании процесса разливки плавки, который кантуется вместе со шлаком в чашу и используется в дальнейшем как скрап. Причем основным параметром, влияющим на массу ковшевого остатка, является высота уровня стали в ковше, при которой над разливочным отверстием образуется вихревая воронка. Следует отметить, что в практике разливки имеют место случаи появления шлака в струе, истекающей из сталеразливочного ковша даже при уровне металла в нем более 200 мм (более 10 т). Поэтому основной задачей данной работы было исследование параметров, влияющих на воронкообразование при истечении последних порций металла из технологических емкостей, для разработки рекомендаций, позволяющих осуществлять контроль и управление этим процессом.

Циркуляционные течения в жидкости, развивающиеся в устойчивые вихревые воронки, могут иметь различную природу. Начальное возбуждение самопроизвольного вращения в жидкости обусловлено действием силы Кориолиса и массодинамической

силы со стороны гравитационного поля Земли на радиальные потоки жидкости, движущиеся к месту истечения [3, 4]. По мнению авторов работ [5, 6], образование вихревых воронок можно связывать с проявлением неустойчивости симметричного ламинарного течения жидкости, асимметрией граничных условий и существованием вращения в жидкости перед истечением. Из указанных причин достаточно изученным можно считать влияние на воронкообразование сил Кориолиса [3, 4]. Условия для проведения опытных исследований этого влияния требовали, чтобы возмущения, возникающие в жидкости при заполнении емкости до открытия сливного отверстия, угасли до уровня меньшего, чем скорость вращения Земли для конкретного места, где проводится эксперимент. С этой целью при проведении экспериментов авторы работ [3, 4] выдерживали жидкость после заполнения емкости не менее 24 ч. Следовательно, если состояние покоя в объеме жидкости не достигается, то доминирующим фактором развития вихревых потоков над разливочным отверстием можно считать различные энергетические процессы, происходящие внутри объема жидкости, в том числе вызванные внешними воздействиями или их последствиями. Простые опыты переливания жидкости из одной емкости в другую, а также принудительного раскручивания потоков жидкости в емкости подтверждают, что после прекращения внешнего воздействия наблюдается продолжение циркуляционного вращения потоков.

В производственном процессе от сталеплавильного агрегата до разливки стали практически все технологические переливы, а также перемешивание расплава инертным газом способствуют возникновению различных потоков в объеме жидкого металла, обладающих определенным уровнем кинетической энергии. Не менее значимыми при этом являются различные физико-химические процессы, происходящие в жидкой ванне ковша, также способствующие возникновению конвективных потоков различной интенсивности.

В производственных условиях ПАО «Алчевский металлургический комбинат» («АМК») были исследованы причины и характер воронкообразования в сталеразливочном ковше при разливке стали на слабовых МНЛЗ.

Процесс образования устойчивой воронки имеет нестихийный характер и частички шлаковых включений, вовлекаемые вихревым потоком, проникают в разливочное отверстие задолго до возможного визуального определения их в струе металла. Вращающимся потокам в жидкости сопутствует явление центрифугирования, при котором более легкие включения стремятся к центру ядра вращения и, коагулируя, образуют шлейф над эпицентром вращения. При образовании и развитии вихревых потоков над сталеразливочным отверстием постепенно увеличивается разряжение в центре ядра вращения. Когда выталкивающая сила, действующая на включения, оказывается ниже сил вихревого течения, то шлейф металлических включений направляется в металлопроводку по конической трубе низкого давления внутри вихревого потока. На поверхности вращения металлического расплава образуется вогнутый конус, объем которого заполняет поверхностный шлак. По мере развития вихревого потока вершина обратного конуса постепенно погружается в металлический расплав в направлении разливочного отверстия. В конечном итоге образуется труба (или прорыв) вихревой воронки, внутри которой по спиральной траектории перемещается шлак. Соответственно, после окончания разливки каждой плавки в серии значительная порция печного шлака неизбежно попадает в промежуточный ковш и далее, при определенных обстоятельствах, в кристаллизатор.

Для определения взаимосвязи между интенсивностью гидродинамических процессов и массопереносом шлаковых включений из сталеразливочного ковша в промежуточный было исследовано влияние некоторых параметров технологии получения непрерывнолитых слабов на количе-

ство накопленного в промежуточном ковше печного шлака за серию плавов.

Номенклатура разливаемых на «АМК» сталей подразделяется на группы в зависимости от химического состава. Каждой группе соответствуют оптимальные условия температуры и скорости разливки (табл. 1), которые определяют термодинамическое состояние объемов разливаемого металла.

Значение перегрева стали в сталеразливочном ковше, согласно технологическим условиям, составляет (30-35) °С над температурой в промежуточном ковше.

Для снижения процесса вторичного окисления и теплоизоляции поверхности металла в промежуточном ковше используются специальные смеси. Жидкую часть шлакового покрова в промежуточном ковше в начале разливки первой плавки в серии обеспечивает рафинирующая шлакообразующая смесь (ШОС), которая присаживается на поверхность металла в количестве 200 кг при наполнении ковша, а сверху на сформировавшийся шлаковый расплав подается теплоизолирующая смесь (ТИС) в таком же количестве. На следующих плавках серии ТИС добавляется в среднем по 70 кг.

Для анализа были выбраны серии из десяти плавов, разлитые в приблизительно одинаковых температурно-скоростных ус-

ловиях по каждой группе марок сталей. В связи с тем, что в производственном задании ПАО «АМК» имеют место частые изменения ширины и толщины слябов, наиболее приемлемыми показателями интенсивности истечения металла через разливочное отверстие сталеразливочного ковша емкостью 300 т являются массовый расход стали или цикл разливки плавки. Толщину жидкого шлака в промежуточном ковше определяли с помощью «намораживания» шлака на кислородной трубке, вертикально погруженной в расплав на 150-200 мм в районе стопора-моноблока с последующей выдержкой в течение 30-40 с (рис.).



Рисунок Фото фрагмента кислородной трубки после погружения в расплав для определения толщины шлакового расплава в промежуточном ковше

Таблица 1

Основные технологические параметры непрерывной разливки различных групп марок сталей на МНЛЗ ПАО «АМК»

Группы марок сталей	Скорость разливки* (м/мин) для толщины сляба (мм)				Перегрев стали* в промежуточном ковше, °С
	200	220	250	300	
LowC (низкоуглеродистые низкокремнистые типа 1006)	$\frac{1,5}{1,9}$	$\frac{1,3}{1,6}$	$\frac{1,1}{1,4}$	$\frac{0,6}{0,8}$	$\frac{25}{35}$
Peri (перитектические низкокремнистые типа St-37-2)	$\frac{1,2}{1,6}$	$\frac{1,1}{1,45}$	$\frac{1,0}{1,3}$	$\frac{0,6}{0,8}$	$\frac{20}{30}$
APeri (перитектические легированные типа 09Г2С)					
MedC (среднеуглеродистые типа 3СП)	$\frac{1,2}{1,6}$	$\frac{1,1}{1,45}$	$\frac{0,9}{1,2}$	$\frac{0,6}{0,8}$	$\frac{20}{30}$

\* — числитель min, знаменатель max значения.

Определение начального значения толщины жидкого шлака, образующегося на поверхности металла в промежуточном ковше после расплавления ШОС, производили при разливке около 150 т металла; при этом уровень металла над верхним срезом стаканов-дозаторов – ~1 м (масса стали в промежуточном ковше равна 50-55 т). Результаты нескольких замеров показали незначительные колебания толщины жидкого шлака при среднем ее значении 6 мм, что и было принято за базовое значение для всех контролируемых опытных серий плавов. Замеры толщины шлака, накопленного в

промежуточном ковше в течение всей серии, производили после прекращения разливки последнего сталеразливочного ковша при уровне металла в промежуточном ковше также около 55 т.

Средние значения длительности цикла разливки плавки в серии, расхода стали из сталеразливочного ковша и ее температуры, а также толщины шлакового расплава в промежуточном ковше и количества остающегося металлического остатка в сталеразливочном ковше, полученные на основании анализа более ста серий плавов, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения параметров исследованных опытных плавов

Группы марок сталей	Цикл разливки, мин	Расход стали, т/мин	Толщина шлакового расплава, мм	Температура металла °С	Количество остающегося металла, т
Низкоуглеродистые (типа 1006)	40	7,5	80	1586	2,5
	50	6	73	1588	2
	60	5	62	1590	2
Перитектические низкокремнистые (типа St-37-2)	50	6	71	1570	2
	60	5	50	1574	1,5
Перитектические легированные (типа 09Г2С)	50	6	58	1564	1,5
	60	5	40	1566	1
Среднеуглеродистые типа ЗСП	50	6	60	1563	1,5
	60	5	40	1564	1

Несмотря на некоторые отличия физико-химических свойств шлакового расплава для различных групп марок стали, можно сделать вывод о явном влиянии скорости и температуры разливки на количество попадающего в промежуточный ковш печного шлака. Причем, чем меньше цикл разливки плавки и выше температура металла, тем больше печного шлака может проникать в промежуточный ковш и, соответственно, в кристаллизатор. Также следует отметить значительное увеличение толщины шлака

для перитектических низкокремнистых марок в сравнении с легированными. Для низкокремнистых марок сталей, раскисленных алюминием, характерно зарастание дозирующих устройств вследствие отложения на рабочей поверхности металлопроводящих огнеупорных материалов оксидов алюминия, что указывает на высокое содержание этих включений в стали и может приводить к прекращению разливки. Кроме того, неметаллические включения в жидкой стали различного происхождения неравно-

мерно распределяются в объеме расплава. Под действием Архимедовых сил включения стремятся к всплыванию, поэтому концентрация их в жидкой ванне увеличивается от нижних уровней к верхним. Неметаллические включения, энергия всплывания которых не позволяет переместиться через поверхность контакта металл-шлак, образуют в подповерхностной зоне слой шлакометаллической эмульсии [2]. Поэтому окончание разливки плавки низкокремнистых марок часто сопровождается значительным снижением пропускной способности разливочного отверстия из сталеразливочного ковша, а также дозирующих устройств промежуточного ковша. Количество срабатываний аварийных сигналов, определяемых системой раннего обнаружения прорывов «Mold Expert», при разливке низкокремнистых марок сталей, особенно St-37-2, значительно увеличивается и приходится в основном на период окончания разливки из сталеразливочного ковша и при открытии очередной плавки в серии [1].

Следует отметить, что короткие циклы разливки обусловлены сокращением цикла внепечной подготовки плавки на агрегате ковш-печь (АКП). При этом применяются более интенсивные процессы нагрева и перемешивания расплава инертным газом, значительно сокращаются интервалы времени между окончанием подготовки плавки на АКП и началом разливки на МНЛЗ. Иногда в производственных условиях вынужденно сокращается время «мягкого режима» продувки аргоном в конце подготовки плавки на АКП. Все указанные факторы приводят к более сильным инерционным последствиям динамического состояния объема металла перед разливкой и существенно влияют на выход годного непрерывнолитого металла, обусловленного в первую очередь остатком стали в сталеразливочном ковше.

Поэтому для исследуемого массива плавки было проанализировано влияние длительности цикла разливки плавки в серии и температуры стали в сталеразливоч-

ном ковше на количество остающегося в нем металла (табл. 2). Количество металлического остатка, кантуемого в чашу вместе со шлаком, после окончания разливки определялось визуально.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что существенное увеличение количества металлического остатка имеет место для плавки с наиболее высокой температурой, короткими циклами разливки и, соответственно, ограниченным временем внепечной обработки. Количество металла, кантуемого в чашу, можно считать косвенным показателем образования вихревой воронки при окончании разливки плавки из сталеразливочного ковша.

Для уменьшения количества шлакометаллического остатка, кантуемого в чашу, и с целью снижения массы остающегося в сталеразливочном ковше металла, при котором образуются вихревые воронки в конце процесса непрерывной разливки, в условиях ПАО «АМК» были разработаны и внедрены специальные технологические мероприятия, предусматривающие:

- изменение конструкции футеровки днища сталеразливочного ковша [7, 8], что обеспечивает уменьшение массы остающегося в нем металла и площади взаимодействия его со шлаком при достаточном для предотвращения воронкообразования уровне столба расплава в районе дозирующих устройств;

- максимальный расход металла для наполнения промежуточного ковша при остатке его в сталеразливочном в количестве 4-5 т, а перелив последних 1-2 т стали осуществляется дискретно, с использованием дросселирования струи шиббером затвором для подавления развития вихревых потоков и уменьшения уровня остаточного металла, при котором образуется воронка.

Рассматривая процесс перемещения шлаковых включений в кристаллизатор при смене сталеразливочного ковша (перековшовка), необходимо учитывать гидродинамические изменения потоков в промежу-

точном ковше не только на этапе окончания разливки, но и при открытии новой плавки. Начало разливки из сталеразливочного ковша следующей плавки в серии характеризуется максимальным напором струи металла, истекающей в промежуточный ковш, которая при падении пробивает слой шлака и вовлекает его вглубь ванны. При этом образуются интенсивные потоки, обладающие высокой кинетической энергией, что способствует дальнейшей транспортировке включений в направлении стаканов-дозаторов. Основными факторами, влияющими на интенсивность процесса транспортировки включений через ванну промежуточного ковша, является уровень металла в нем и массовый расход стали через дозирующие устройства. Попадание порций печного шлака и шлака промежуточного ковша в кристаллизатор значительно искажает рабочие физико-химические свойства находящейся на его поверхности ШОС, а также увеличивает гетерогенность минералогического состава гарниссажа, образующегося между медными плитами и формирующейся оболочкой слитка [1].

Окончание разливки из промежуточного ковша также регламентируется шлакометаллическим остатком (в условиях ПАО «АМК» 15 т), который исключает возможность попадания шлака из промежуточного ковша в кристаллизатор. Поэтому технология VAI (производитель МНЛЗ ПАО «АМК») не гарантирует удовлетворительного качества пяти последних метров хвостовой части непрерывнолитой заготовки в виду возможности образования в этом объеме газовых пузырей, осевой ликвации, пористости, неметаллических включений и других дефектов. Подробное изучение природы дефектообразования в хвостовой части слитка позволило выявить некоторые особенности этого процесса.

Окончание разливки серии сопровождается значительными потерями температуры расплава, что может привести к замерзанию разливаемой стали в дозирующих устройствах промежуточного ковша. Соответственно, это приводит к значительному

увеличению шлакометаллического остатка в промежуточном ковше и снижению выхода годного сляба, особенно при разливке сталей с узким интервалом кристаллизации (высокоуглеродистых). Поэтому по существующей технологии окончание разливки предусматривало максимально быстрое опорожнение промежуточного ковша до массы металла в нем 15 т. При этом не было учтено, что в момент прекращения разливки длина жидкой фазы непрерывнолитой заготовки имеет максимальное значение. После прекращения подпитки слитка жидкой сталью и замораживания хвостовой части условия кристаллизации резко изменяются, способствуя развитию ликвационных процессов, ухудшению удаления газов, хаотичному распределению неметаллических включений в объеме кристаллизующейся хвостовой части, а усадочные явления способствуют при этом неконтролируемому развитию пористости и образованию мелких раковин. Зачастую глубина проникновения перечисленных видов дефектов превышала пять метров хвостовой части непрерывнолитой заготовки и приводила к браку более 30 т стали за серию.

На основании полученных при исследовании отмеченных процессов данных базовая технология была пересмотрена и вместо резкого прекращения разливки предложено плавное снижение ее скорости на заключительной стадии опорожнения промежуточного ковша по определенному алгоритму, что позволяет решать существующую проблему в двух направлениях:

- снизить ликвационные и усадочные дефекты за счет плавного перемещения конуса кристаллизации хвостовой части непрерывнолитой заготовки снизу вверх;

- избежать развития интенсивного вихревого потока при снижении уровня в промежуточном ковше и исключить попадание шлака в кристаллизатор при уровне металла в нем менее 10 т за счет плавного, в соответствии со скоростью разливки, сокращения сечения сталеразливочного канала стакана-дозатора стопорным механизмом.

Для предотвращения чрезмерного охлаждения металла на заключительном этапе разливки последней плавки в серии с плавным снижением скорости и, следовательно, более продолжительным циклом был увеличен расход ТИС для сталеразливочного и промежуточного ковшей. Кроме того, для обеспечения необходимой температуры стального мениска в кристаллизаторе, позволяющей поддерживать его в жидком состоянии для удаления газов и неметаллических включений, подача ШОС должна производиться практически до конца разливки и заканчиваться за 0,5 м до окончания формирования хвостовой части. В результате внедрения предложенных технологических мероприятий был значительно снижен брак хвостовой части непрерывнолитой заготовки, а длина технологической обрезки уменьшилась до 1 м.

Таким образом, в настоящей работе:

- исследованы основные причины, влияющие на процесс образования вихревых потоков над разливочными отверстиями сталеразливочного и промежуточного ковшей;

- установлено, что при меньшей длительности цикла разливки плавки и более высокой температуре стали количество шлака, проникающего с зеркала металла сталеразливочного и промежуточного ковшей в кристаллизатор, увеличивается вследствие возникновения вихревых потоков и образования воронок при истечении последних порций металла из технологических емкостей;

- предложены рекомендации, позволяющие повысить качество получаемых слябов, а также увеличить выход годной стали за счет снижения вероятности возникновения аварийных ситуаций и прорывов металла, пораженности непрерывнолитой заготовки различными дефектами и уменьшения количества шлакометаллических остатков в сталеразливочном и промежуточном ковшах.

В ходе последующих исследований предполагается разработать алгоритмы плавного снижения скорости непрерывной разливки на заключительной стадии процесса для различных типоразмеров получаемых слябов.

### Библиографический список

1. Смирнов, А. Н. Некоторые аспекты возникновения прилипания и прорывов корочки непрерывнолитого сляба в кристаллизаторе [Текст] / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. Н. Максаев. — М. : Электromеталлургия, 2013. — № 9. — С. 13–21.
2. Смирнов, А. Н. Влияние неметаллических включений на подвисяние и прорыв оболочки непрерывнолитого слитка в кристаллизаторе МНЛЗ [Текст] / А. Н. Смирнов, Е. Н. Максаев, С. В. Куберский, В. Г. Ефремова // Процессы литья. — 2015. — № 4. — С. 22–30.
3. Faber T.E. Fluid Dynamics for Physicists [Текст] / Cambridge: Univ. Press, 1995. 440 p.
4. Trefelhen L.M., Ringer R.W., Fink P.T. et al. The Bath-tub vortex in the southern hemisphere [Текст] / Nature. 1965. V 207. №5001. P.1084–1085.
5. Зуйков, А. Л. Поверхностные вихревые воронки в тяжелых жидкостях [Текст] / А. Л. Зуйков // ГОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». — М. : МГСУ, 2011. — 72 с.
6. Павельев, А. А. Эксперимент по формированию вихря при вытекании жидкости из бака [Текст] / А. А. Павельев, А. А. Штарев // Изв. РАН. МЖГ. — 2001. — № 5. — С. 203–207.
7. Пат. № 81840 Україна, МПК В 22 D 41/02 Сталеразливний ківш / О.М. Смірнов, Є.М. Максаєв, А.В. Головчанський, С.В. Куберський, М.Б. Левіт, І.М. Салмаш; заявник та патентоутримувач ДонДТУ. — № u201301332; заяв. 04.02.2013; опубл. 10.07.2013 р., Бюл. № 13. — 4 с.
8. Куберский, С. В. Усовершенствование конструкции футеровки днища сталеразливочного ковша для повышения качества и выхода годной непрерывнолитой стали [Текст] / С. В. Куберский, Е. Н. Максаев, С. В. Семирягин, А. В. Головчанский // Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях : Сб. научн. тр. — Донецк : «НОУЛИДЖ», 2013. — С. 9–104.

© Куберский С. В.

© Максаев Е. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
зам. нач. ЦЛК ПАО «АМК» Тарасовым В. Н.*

*Статья поступила в редакцию 08.11.16.*

**к.т.н. Куберський С. В.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **Максєв Є. М.** (ПАО «АМК», м. Алчевськ)

### **ВПЛИВ ЕФЕКТУ ВОРОНКОУТВОРЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ**

*Проаналізовано вплив умов підготовки металу до безперервного розливання і основних параметрів процесу на утворення воронки під час витікання металу з сталерозливального і проміжного ковша, а також кількість захоплюваних вихровими потоками неметалічних включень. Запропоновано рекомендації, які сприяють підвищенню чистоти розливої сталі за неметалічними включеннями і виходу придатного, зниженню ймовірності утворення дефектів, виникнення аварійних ситуацій і проривів металу під кристалізатором.*

**Ключові слова:** безперервне розливання, витікання, ківш, вихрові потоки, воронка, цикл розливання, температура, залишок металу, дефекти, якість, вихід придатного.

**PhD Kuberskiy S. V.** (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Maksaiev Ye. N.** (PJSC « Alchevsk Iron-and-Steel works », Alchevsk)

### **INFLUENCE OF VORTEX FORMATION EFFECT ON PARAMETERS OF CONTINUOUS CASTING PROCESS**

*Influence of conditions of metal preparing to continuous casting has been analyzed along with the main process parameters on vortex formation at metal flowing from casting ladle and tundish ladle as well as the quantity of involved in whirling flows the nonmetallic inclusions. Guidelines have been proposed for increasing the purity of casting steel concerning nonmetallic inclusions and prime yield, reducing the possibility of defects occurring, emergency occurrence and metal penetration under the crystallizer.*

**Key words:** continuous casting, flowing, ladle, whirling flows, vortex, casting cycle, temperature, hot heel, defects, quality, prime yield.

УДК 669.162.262

к.т.н. Русанов И. Ф.,  
к.ф.-м.н. Русанова Н. И.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)  
(rusanova-2011@inbox.ru)

## ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЛИФРАКЦИОННОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЯ

*Приведены результаты анализа применимости степенного и параболического уравнений для описания зависимости перепада давления в слое полифракционного материала от скорости движения газа в нем. Предложены формулы для расчета газодинамического сопротивления слоя материала по обобщенным характеристикам его ситового состава. Проанализировано влияние крупности и однородности материала на его газодинамическое сопротивление.*

**Ключевые слова:** газодинамика, слой полифракционных материалов, обобщенные характеристики ситового состава, средний размер кусков, коэффициент вариации размера кусков.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Газодинамическое сопротивление слоя сыпучих материалов во многих процессах, протекающих в агрегатах со стационарным или подвижным слоем в присутствии газовой фазы, играет важную, а иногда и определяющую роль. Во всех случаях оно определяет скорость движения газа через слой материалов, эффективность протекания физико-химических процессов и теплообмена, стабильность и эффективность работы агрегатов.

Оценка газодинамического сопротивления слоя осуществляется по перепаду давления газа в нем. Зависимость же перепада давления газа  $\Delta P$  в слое от его скорости движения  $\omega$  является основой любых оценок газодинамики процессов.

Математически эта зависимость описывается уравнением Дарси-Вейсбаха, преобразованным для реального слоя. Сложность применения этого уравнения для решения практических задач заключается в том, что входящий в него коэффициент газодинамического сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса, не может быть определен аналитически. В результате эта зависимость представляется в степенном или же параболическом виде. В итоге к

настоящему времени сложилась парадоксальная ситуация: одна и та же зависимость в разных работах аппроксимируется существенно различающимися функциями, а их адекватность изучаемому явлению до сих пор не сопоставлена, и поэтому остается неясным, какая именно функция действительно описывает явление, а какую следует рассматривать лишь как удобную аппроксимацию истинной зависимости.

При изучении газодинамики слоя обычно рассматривают его газодинамические свойства и характер движения газа в нем. Для учета особенностей структуры реального слоя в уравнение Дарси-Вейсбаха вводят обобщенные характеристики слоя: его пористость, эквивалентный диаметр каналов, коэффициент, характеризующий форму частиц, образующих слой. Численные значения этих характеристик могут быть рассчитаны по известным формулам. Однако при этом необходимо экспериментально определить кажущуюся и сыпучую массу материала, коэффициент формы кусков, объемную долю всех фракций.

Газодинамические характеристики слоя определяются гранулометрическим (ситовым) составом полифракционного сыпучего материала, образующего этот слой. Поэтому целесообразно установить влияние

на газодинамическое сопротивление слоя таких характеристик материала, как средний размер кусков  $d_{cp}$  и коэффициент вариации их размера  $\nu$ , которые обобщенно характеризуют его ситовый состав, и для их вычисления достаточно только знать последний. Эти характеристики, как показано в работе [1], однозначно определяют ситовый состав полифракционного материала.

**Постановка задачи.** В связи с вышеизложенным в данной работе решались две задачи.

Первая – это оценка точности описания экспериментальных данных зависимости  $\Delta P = f(\omega)$  с помощью степенной и двухчленной функций и выбор функции, наиболее адекватной процессу.

Вторая – определение зависимости коэффициентов выбранной аппроксимирующей функции  $\Delta P = f(\omega)$  от величины параметров, обобщенно характеризующих ситовый состав полифракционного материала во всем его многообразии.

**Изложение материала и его результаты.**

Для реального слоя полифракционных сыпучих материалов уравнение Дарси-Вейсбаха имеет следующий вид:

$$\Delta P = \lambda \cdot h \cdot \frac{1}{d_s \cdot \phi} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – перепад давления в слое, Па;

$\lambda$  – коэффициент газодинамического сопротивления;  $h$  – высота слоя, м;  $d_s$  – эквивалентный диаметр частиц, м;  $\phi$  – коэффициент формы частиц;  $\varepsilon$  – пористость слоя, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – приведенная скорость движения газа через слой, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с).

Зависимость коэффициента газодинамического сопротивления от числа Рейнольдса чаще всего описывается одной из функций:

$$\lambda = \frac{C}{Re^m} \quad \text{или} \quad \lambda = \frac{A}{Re} + B.$$

В первом случае зависимость перепада давления (в расчете на 1 м высоты слоя) от расхода газа через единичное сечение слоя (1 м<sup>2</sup>) описывается степенным уравнением:

$$\Delta P = M \cdot \mu^m \cdot \rho^{1-m} \cdot \omega^{2-m}, \quad (2)$$

$$\text{где } M = \frac{C}{\varepsilon^3} \left( \frac{1 - \varepsilon}{\phi \cdot d_{cp}} \right)^{1+m}.$$

Во втором случае уравнение (1) преобразуется в параболическое уравнение:

$$\Delta P = K_1 \cdot \mu \cdot \omega + K_2 \cdot \rho \cdot \omega^2, \quad (3)$$

где

$$K_1 = \frac{A}{\varepsilon^3} \left( \frac{1 - \varepsilon}{\phi \cdot d_{cp}} \right)^2, \quad K_2 = \frac{B}{\varepsilon^3} \left( \frac{1 - \varepsilon}{\phi \cdot d_{cp}} \right);$$

$\mu$  – коэффициент динамической вязкости газа, кг/(м·с).

Для решения поставленных задач обработано большое количество экспериментальных данных (как самих авторов, так и взятых из литературных источников), в которых производились замеры перепада давления газа при разных расходах воздуха в слое полифракционных материалов.

Обработка данных проведена корреляционным анализом в двух вариантах: в координатах  $\ln \Delta P = f(\ln \omega)$  и  $\Delta P / \omega = f(\omega)$ , в которых, соответственно, уравнения (2) и (3) линеаризуются.

Для обоих вариантов парные коэффициенты корреляции оказались сравнительно высокими – не менее 0,997 для степенной и 0,972 для параболической функций. Однако остаточная дисперсия в первом случае оказалась примерно на порядок ниже, чем во втором. Таким образом, следует признать, что степенная функция более адекватна фактической зависимости  $\Delta P = f(\omega)$ , нежели параболическая. Однако для аппроксимации экспериментальных данных предпочтительнее использовать параболическое уравнение (3).

По результатам обработки всех данных, в которых был известен ситовый состав материалов, вычислены также коэффициенты  $M$  и  $m$  уравнения (2) и  $K_1$  и  $K_2$  уравнения (3). Анализ зависимости этих коэффициентов от обобщенных характеристик ситового состава (средневзвешенного размера кусков  $d_{cp}$  и коэффициента вариации размера кусков  $v$ ) показал следующее.

Коэффициент  $M$  обнаруживает четкую зависимость от обобщенных характеристик ситового состава: уменьшается с увеличением  $d_{cp}$  и возрастает с увеличением  $v$ . Взаимосвязь  $M$  с этими параметрами характеризуется множественным коэффициентом корреляции около 0,97.

В отличие от этого коэффициент  $m$ , характеризующий развитие ламинарной составляющей газового потока, от опыта к опыту изменялся в пределах 0,3-0,7 и проявлял слабую корреляцию с обобщенными характеристиками ситового состава материала, хотя с увеличением  $v$  и уменьшением  $d_{cp}$  он возрастал, однако соответствующий множественный коэффициент корреляции составил только 0,63. В этом, как отмечено в ряде работ, и состоит неудобство формулы (2) при ее практическом использовании.

Коэффициенты же параболической зависимости  $K_1$  и  $K_2$  более тесно связаны с обобщенными характеристиками ситового состава материала. При увеличении  $d_{cp}$  и уменьшении  $v$  оба коэффициента уменьшались. Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что соответствующие взаимосвязи удовлетворительно описываются уравнениями:

$$K_1 \cdot 10^{-5} = \left( \frac{4,9}{d_{cp}} \right)^2 + 2,6 \cdot d_{cp}^{0,25} [f(v) - 1];$$

$$K_2 = \frac{10,4}{d_{cp}} \cdot f^2(v), \quad (4)$$

$$\text{где } f(v) = \left[ 1 + \left( \frac{v}{v_0} \right) \right]^{1/8}.$$

При расчете коэффициентов  $K$  по формулам (4) средний размер кусков материала  $d_{cp}$  следует выражать в мм, а при последующем расчете величины  $\Delta P$  по уравнению (3) численное значение величины  $\mu$  преобразовывать к виду  $\mu \cdot 10^5$ .

Коэффициент вариации размера кусков  $v_0$  характеризует максимальную однородность ситового состава материала. Для агломерата он равен 0,45.

Вычисленные по этим формулам значения коэффициентов тесно коррелированы с фактическими данными: для  $K_1 \cdot 10^{-5}$  коэффициент корреляции составил 0,98, а для  $K_2$  – 0,99. Среднеквадратичная погрешность расчета коэффициентов  $K_1 \cdot 10^{-5}$  и  $K_2$  по опытными данным равна 0,24 и 0,38 соответственно, а относительная погрешность составляет 8,0 и 6,9% соответственно.

Следовательно, для практических целей можно рекомендовать использовать двухчленную параболическую зависимость. При этом определение перепада давления в слое неоднородного сыпучего материала различного ситового состава может быть выполнено чисто расчетным путем на основании уравнений (4).

Некоторые процессы, например агломерация руд, протекают при одинаковом перепаде давления в слое. При этом скорость движения газа через слой различная. Так, при спекании агломерата на конвейерных агломашинах в слоях, расположенных у бортов тележек, скорость газа в 1,1-1,2 раза выше, чем в остальном слое [2]. Последнее является следствием того, что в результате сегрегации шихты у бортов располагается материал повышенной крупности и более однородный по размеру гранул шихты.

Для оценки таких особенностей процесса целесообразно установить влияние ситового состава материала на газопроницаемость слоя.

В результате обработки специально проведенных исследований установлено, что при одинаковой скорости фильтрации воздуха через слой (в условиях экспери-

ментов она равнялась  $1,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , т. е. была близка к реальной) перепад давления в нем возрастает с уменьшением средней крупности кусков агломерата и повышением его неоднородности по крупности. При этом зависимость перепада давления от средней крупности материала в первом приближении описывается гиперболой – чем меньше  $d_{\text{ср}}$ , тем значительнее влияет на газопроницаемость этот параметр. Увеличение же коэффициента вариации размера кусков материала  $\nu$  сопровождается практически линейным повышением перепада давления в слое.

Статистическая обработка полученных данных показала, что величина  $\Delta P$  тесно коррелирована с характеристиками  $1/d_{\text{ср}}$  и  $\nu$ : парные коэффициенты корреляции соответственно равны 0,515 и 0,831, частные составляют 0,924 и 0,969, а множественный коэффициент корреляции равен 0,987. В исследованном диапазоне варьирования параметров  $d_{\text{ср}}$  и  $\nu$  зависимость  $\Delta P$  от этих параметров при скорости воздуха  $1,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  в расчете на 1 м высоты слоя описывается уравнением:

$$\Delta P = \frac{69}{d_{\text{ср}}} + 43 \cdot \nu - 28, \text{ кПа/м.} \quad (5)$$

### Библиографический список

1. Русаков, П. Г. Обобщенные характеристики ситового состава неоднородного сыпучего материала [Текст] / П. Г. Русаков, И. Ф. Русанов // Заводская лаборатория. — 1990. — № 2. — С. 68–69.
2. Петрушов, С. Н. Спекание агломерата с вводом в прибортовой слой чугуновой стружки [Текст] / С. Н. Петрушов, И. Ф. Русанов, С. Н. Куберский, Д. В. Лупанов // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск: ДонГТУ, 2011. — Вып. № 34. — С. 99–105.

© Русанов И. Ф.

© Русанова Н. И.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
нач. сталеплавильной лаборатории ПАО «АМК» Сбитневым С. А.*

Статья поступила в редакцию 23.11.16.

В производственных условиях характеристики ситового состава агломерата с течением времени существенно меняются. Например, в условиях ПАО «АМК»  $d_{\text{ср}}$  и  $\nu$  агломерата от месяца к месяцу меняются в 1,1-1,2 раза и на 0,05-0,10 соответственно. Экстраполяцией зависимости (5) на значения параметров  $d_{\text{ср}} = 15 \text{ мм}$  и  $\nu = 0,7$  установлено, что изменения  $d_{\text{ср}}$  и  $\nu$  сопровождаются изменением величины  $\Delta P$  на 0,6 %/% и на 6 %/% соответственно. Следовательно, параметр  $\nu$  оказывает большее влияние на газопроницаемость слоя, нежели параметр  $d_{\text{ср}}$ .

### Выводы и направление дальнейших исследований.

Для описания закономерностей движения газа через слой полифракционных материалов на практике целесообразно применять параболическую зависимость. Эмпирические коэффициенты параболической зависимости обнаруживают тесную связь с обобщенными характеристиками ситового состава материала, что позволяет прогнозировать изменения газопроницаемости слоя, вызванные колебаниями ситового состава шихтовых материалов.

Неоднородность материала по крупности оказывает большее влияние на газопроницаемость слоя, нежели его крупность.

к.т.н. Русанов І. Ф., к.ф-м.н. Русанова Н. І. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

### ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПОЛІФРАКЦІЙНОГО СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ НА ГАЗОДИНАМІЧНИЙ ОПІР ШАРУ

*Наведені результати аналізу застосовності степеневого й параболічного рівнянь для опису залежності перепаду тиску в шарі поліфракційного матеріалу від швидкості руху газу в ньому. Запропоновані формули для розрахунків газодинамічного опору шару матеріалу за узагальненими характеристиками його ситового складу. Проаналізовано вплив крупності й однорідності матеріалу на його газодинамічний опір.*

**Ключові слова:** газодинаміка, шар поліфракційних матеріалів, узагальнені характеристики ситового складу, середній розмір кусків, коефіцієнт варіації розміру кусків.

PhD Rusanov I. F., PhD In Physics and Maths Rusanova N. I. (DonsTU, Alchevsk, LPR)

### INFLUENCE OF GRAIN SIZE OF POLYFRACTION LOOSE MATERIAL ON GAS-DYNAMIC LAYER RESISTANCE

*The research results of using exponential and parabolic equations are given for describing the dependence of pressure drop in layer of polyfraction material on gas flow rate inside it. Calculating formulas for gas-dynamic resistance of material layer are proposed due to generalized characteristics of its fractional composition. Influence of material size and homogeneity on its gas-dynamic resistance has been analyzed.*

**Key words:** gas-dynamic, layer of polyfractional material, generalized characteristics of fractional composition, average lumps size, variation coefficient of lumps size.

УДК 669.18.046.5

к.т.н. Романчук А. Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТСЕЧКИ КОНЕЧНОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА

*Рассмотрено влияние отсечки шлака при выпуске стали из кислородного конвертера на ее качество и технологические показатели кислородно-конвертерного процесса в целом. Приведены конструкции различных систем отсечки шлака, показано развитие приоритетных направлений в этом вопросе. Исследован опыт эксплуатации систем отсечки шлака в конвертерном отделении ККЦ ПАО «АМК».*

**Ключевые слова:** конвертер, разливочный ковш, отсечка шлака, манипуляторы, отсечные элементы, стопор.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Качество стали напрямую зависит от количества вредных примесей в составе расплава, на удаление которых и направлен кислородно-конвертерный процесс. К ним относится и шлак – неотъемлемый, но очень вредный продукт процесса производства. Для улучшения качества выпускаемой продукции необходимо минимизировать процент шлака в составе металла. Это возможно осуществить с помощью специальных систем отсечки шлака.

Проблема отсечки конечного технологического шлака при выпуске стали из плавильных агрегатов имеет особую актуальность в условиях широкого внедрения способов обработки металла на установках «ковш-печь». Успех решения указанной проблемы зависит от технических возможностей механического оборудования, обеспечивающего бесшлаковый выпуск стали в разливочный ковш.

В настоящее время приоритетным направлением в развитии сталеплавильного производства является разработка новых технологий и оборудования, которые смогли бы обеспечить более высокое качество и более низкую себестоимость выпускаемой металлопродукции. Свойства выплавленного металла во многом зависят от применяемой технологии на заключительных этапах процесса производства стали, к которым относятся внеагрегатная обработка и разливка стали. Как показала практика, эффективность операций по рафинированию стали на уста-

новках «ковш-печь» в значительной мере определяется количеством конечного технологического шлака, попадающего в ковш во время выпуска металла из плавильного агрегата. Особо остро проблема высокоокисленного шлака проявляется в условиях кислородно-конвертерного производства стали.

Отсечка шлака во время выпуска стали из кислородного конвертера в разливочный ковш имеет важное практическое значение, поскольку обеспечивает повышение срока службы футеровки ковшей, снижение степени рефосфорации, уменьшение угара ферросплавов и раскислителей, а также увеличение выхода годной стали. По самым общим данным отсечка конвертерного шлака обеспечивает:

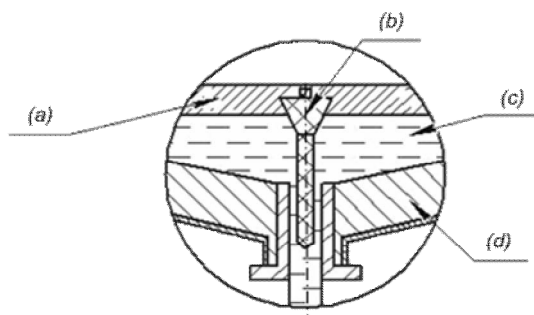
- уменьшение расхода раскислителей (алюминий, ферросилиций и пр.);
- сокращение потребления шлакообразующих присадок (извести и плавленого шпата или же синтетических порошков);
- упрощает и повышает эффективность десульфурации стали в ковше;
- исключает необходимость удаления конвертерного шлака из ковша и исключает потребность в машине для скачивания шлака;
- облегчает наведение в ковше синтетического шлака уже при выпуске его из конвертера;
- снижает потери тепла при обработке на установке «ковш-печь»;
- уменьшает удельный расход огнеупоров на тонну стали за счет снижения их эрозийного износа в зоне шлакового пояса.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является анализ различных систем отсечки конечного конвертерного шлака, влияния эффективности их работы на качество стали и показатели технологического процесса.

**Изложение материала и его результаты.** В настоящее время отсечка шлака с помощью отсечных элементов, вводимых в ванну конвертера, является наиболее распространенным способом, что вызвано его простотой и надежностью по сравнению с другими. Достоинства этого способа: все элементы находятся вне зоны воздействия высоких температур, а самым температурно-нагруженным элементом является штанга, вводимая в полость конвертера, на время не более 30 с; отсутствие необходимости использования дорогих систем раннего обнаружения шлака в струе выпускаемой стали; удобное расположение устройства на рабочей площадке [1].

Способ основан на применении специальных отсечных элементов поплавкового типа (рис. 1), которые изготавливаются из огнеупорного материала и помещаются в ванну конвертера с помощью специальных устройств, блокирующих входное отверстие канала при подходе к нему слоя шлака на заключительной стадии выпуска металла.

Для ввода отсечных элементов поплавкового типа в полость плавильного агрегата на заключительной стадии выпуска стали из него используют манипуляторы.



(a) – шлак, (b) – отсечной элемент,  
(c) – металл, (d) – конвертер

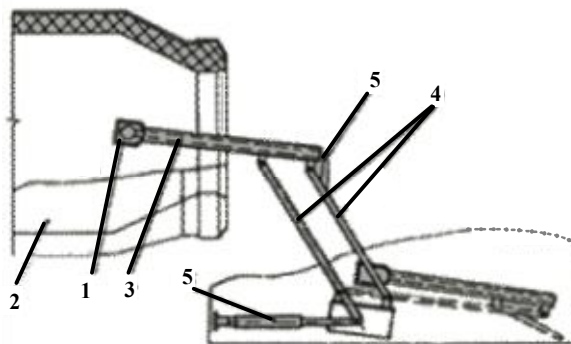
Рисунок 1 Способ отсечки шлака с использованием элементов поплавкового типа

Манипуляционные системы, предназначенные для ввода отсечных элементов в ванну кислородного конвертера, должны удовлетворять следующим требованиям:

- компактности конструкции в нерабочем положении и возможности ее размещения в отведенном месте на рабочей площадке у конвертера;
- достаточной точности позиционирования отсечного элемента относительно оси выпускного канала сталеплавильного агрегата перед сбросом;
- высокой надежности работы в условиях интенсивного теплового воздействия и высокой запыленности;
- возможности автоматического обеспечения заданной траектории движения отсечного элемента при вводе в конвертер без значительного усложнения системы управления приводами [2].

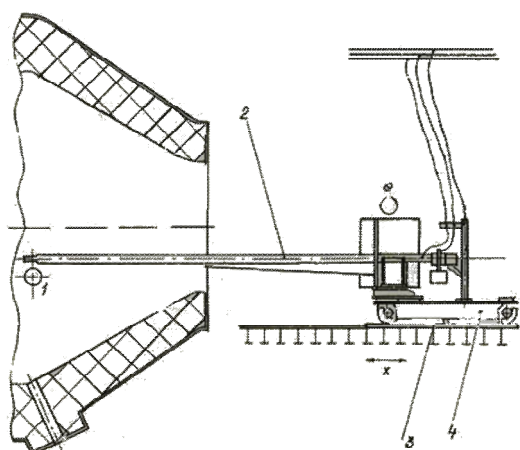
Манипуляторы, используемые на современных металлургических предприятиях, бывают двух типов:

- подвесной, представляющий собой рычажную систему в виде параллелограмма, приводимую в действие пневматическими цилиндрами и закрепленную на кронштейнах над рабочей площадкой (рис. 2);
- напольные манипуляторы, которые могут быть передвижными или стационарными, представляющие собой самоходную тележку с механизмом подъема и поворота штанги, несущей отсечной элемент (рис. 3)



1 – шар-пробка, 2 – конвертер, 3 – полая штанга, 4 – рычаги, 5 – гидроцилиндр

Рисунок 2 Манипулятор подвесного типа



1 – шар-пробка, 2 – штанга, 3 – железнодорожные пути, 4 – самоходная тележка

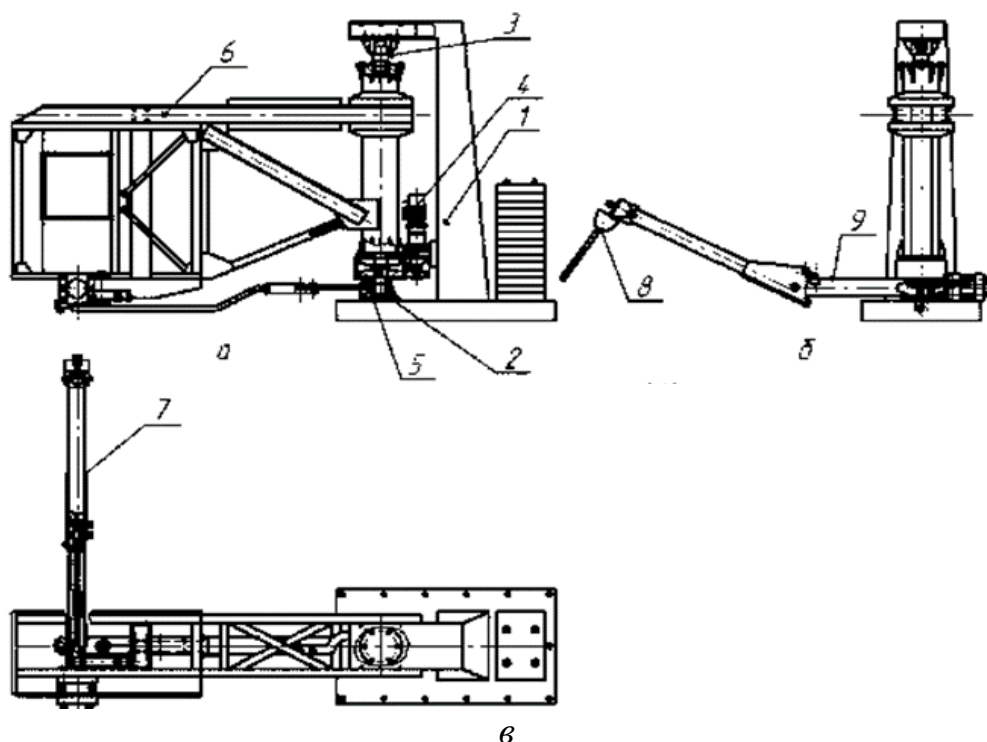
Рисунок 3 Манипулятор напольного типа

На основании результатов анализа существующих конструкций манипуляторов сделан вывод о том, что их многообразие обусловлено спецификой расположения основного и вспомогательного оборудования в плавильных отделениях конвертерных цехов

металлургических предприятий. На рабочей площадке возле кислородного конвертера необходимо рационально разместить несколько машин, каждая из которых предназначена для выполнения строго одной специальной технологической или ремонтной операции.

При разработке усовершенствованной конструкции манипуляционной системы ставилась задача создания универсальной машины, которая могла бы быть задействована для реализации нескольких (как минимум двух) операций, связанных с обеспечением сброса отсечного элемента в ванну кислородного конвертера, а также с установкой защитного экрана, используемого во время ремонта горловины выпускного канала и элементов огнеупорной футеровки плавильного агрегата [3].

Предложенная конструкция универсальной манипуляционной системы показана на рисунке 4.



а – вид спереди; б – вид сбоку; в – вид сверху;

1 – колонна; 2 – нижняя неподвижная опора; 3 – верхняя неподвижная опора;

4 – механизм поворота; 5 – зубчатое колесо; 6 – стрела; 7 – полая штанга;

8 – отсечной элемент; 9 – кронштейн

Рисунок 4 Универсальная манипуляционная система

В результате проведенных испытаний отсечка шлака на выпуске металла из конвертера с использованием универсальной манипуляционной системы позволила повысить качество стали, а также увеличить производительность кислородного конвертера.

Однако со стороны конструкции системы выявились недостатки, главный из которых – невозможность быстрой замены ее элементов, что приводило к остановке конвертера.

В декабре 2013 года проводились испытания в конвертерном отделении ККЦ ПАО «АМК» тампонов «Cone Plast» для отсечки шлака при выпуске металла.

На конвертере было проведено 568 опытных плавов с применением тампонов «Cone Plast». Для сравнения были использованы данные сравнительных плавов с применением каолиновой ваты для отсечки шлака при выпуске металла из конвертера.

В результате исследований было установлено, что применение тампонов «Cone Plast» для отсечки шлака при выпуске металла дало положительные результаты:

- количество увлекаемого металлом шлака составляет 5-7 кг/т стали, что ниже, чем при использовании каолиновой ваты;
- увеличение сквозного усвоения Mn, Si и Al при раскислении и легировании стали;
- снижение расхода Al проволоки.

В качестве недостатков было отмечено следующее:

- неполное соответствие диаметра тампона «Cone Plast» диаметру сливной летки конвертера по причине ее размывания в ходе процесса;
- несоответствие эксплуатационных параметров манипулятора установки тампонов «Cone Plast» конструкции участка кислородных конвертеров.

В настоящее время в отделении ККЦ ПАО «АМК» проведены исследования и введена в эксплуатацию система шлакового стопора «VAL-CON» для отсечки шлака при выпуске металла из конвертера.

Система работает следующим образом. С целью предупреждения вытекания шла-

ка из конвертера в ковш в конце плавки в выпускное отверстие вводится чугунное сопло, через которое вдувается удерживающий газ. Уплотняющая функция обеспечивается пневматическим способом, благодаря чему исключается влияние неравномерного износа выпускного отверстия и неоднородной консистенции шлака. Так как обеспечена возможность управления моментом уплотнения, возможно также и управление количеством вытекающего вместе с плавкой шлака.

Как правило, за счет использования системы для отсечки шлака «VAL-CON» с автоматическим детектированием шлака количество шлака, увлекаемого металлом, снижается до 3-5 кг/т стали.

Механическое повреждение сопла и огнеупорной кладки выпускного отверстия исключается за счет того, что ширина конуса сопла меньше, чем диаметр выпускного отверстия, так что между обеими поверхностями остается кольцевой зазор. При работе системы шлакового стопора через этот зазор подсасывается воздух, который дополнительно поддерживает уплотняющий эффект.

Непрерывное охлаждение газом обеспечивает максимальную готовность и долгий срок службы шлакового стопора. Сопло должно заменяться периодически, приблизительно через каждые 1000 плавов в среднем. В штатных условиях замена сопла занимает примерно 25 минут.

Применение системы для отсечки шлака «VAL-CON» дает большие преимущества по сравнению с использованием тампонов «Cone Plast»:

- сокращение выноса шлака в разливочный ковш;
- сокращение затрат на раскислители;
- снижение расхода ферросплавов;
- сокращение расхода огнеупорного материала;
- уменьшение рефосфорации;
- уменьшение количества включений в стали;

- уменьшение риска снижения качества плавов;
- минимальные эксплуатационные расходы.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Рассмотрена проблема отсечки конечного технологического шлака при выпуске стали из конвертера, имеющая особую актуальность в условиях широкого внедрения способов обработки металла на установках «ковш - печь». Дана оценка различным системам отсечки шлака при выпуске стали из агрегата. Рассмотрен способ отсечки шлака с использованием элементов поплавкового типа. Обоснованы преимущества конструкции универсального манипулятора. В отличие от других конструкций манипуляторов,

указанный манипулятор позволяет реализовать несколько операций при отсечке шлака.

Исследован опыт эксплуатации систем отсечки шлака в конвертерном отделении ККЦ ПАО «АМК».

Сравнительный анализ показал, что применение тампонов «Cone Plast» позволило снизить количество увлекаемого металлом шлака до 5-7 кг/т стали, тогда как с использованием системы для отсечки шлака «VALCON» с автоматическим его детектированием количество шлака, увлекаемого металлом, снизилось до 3-5 кг/т стали.

Дальнейшая разработка и создание отечественных образцов устройств для реализации технологической операции по отсечке конвертерного шлака имеет в настоящее время важное значение.

#### **Библиографический список**

1. Бедарев, С. А. Обоснование параметров и усовершенствование системы отсечки конвертерного шлака элементами поплавкового типа при выпуске стали [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук.: 05.05.08 / Бедарев С. А. — Донецк : ДонГТУ, 2011.
2. Еронько, С. П. Разработка эффективных схем отсечки шлака при сливе металла из конвертера [Текст] / С. П. Еронько, А. Н. Смирнов, Д. П. Кукуй // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2003. — № 8. — С. 33–37.
3. Белянин, П. Н. Промышленные роботы [Текст] : учеб. пособие / П. Н. Белянин. — М. : Машиностроение, 1975. — 400 с.

© Романчук А. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
нач. сталеплавильной лаборатории ОАО «АМК» Сбитневым С. А.*

Статья поступила в редакцию 09.11.16.

**к.т.н. Романчук О. М.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### **ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СИСТЕМ ВІДСІЧЕННЯ КІНЦЕВОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКУ**

*Розглянуто вплив відсічення шлаку при випуску сталі з кисневого конвертера на її якість і технологічні показники киснево-конвертерного процесу в цілому. Наведено конструкції різних систем відсічення шлаку, показано розвиток пріоритетних напрямів в цьому питанні. Досліджено досвід експлуатації систем відсічення шлаку в конвертерному відділенні ККЦ ПАТ «АМК».*

**Ключові слова:** конвертер, розливний ківш, відсічення шлаку, манипулятори, відсічні елементи, стопор.

**PhD Romanchuk A. N.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

#### **EFFICIENCY ASSESSMENT FOR DIFFERENT CUT-OFF SYSTEMS FOR FINAL CONVERTER SLAG**

*The slag cut-off influence on steel quality at tapping from oxygen converter and technological parameters of the whole oxygen-converter process have been analyzed. The designs of different slag cut-off systems are presented and top-priority goals in developing this idea are shown. The field experience for the slag cut-off systems in converter shop of OCS PJSC «Alchevsk Iron-and-Steel works» has been analyzed.*

**Key words:** converter, casting ladle, slag cut-off, manipulators, cut-off elements, locking device.

УДК 621.73.012: 621.73.016

к.т.н. Митичкина Н. Г.,  
Токарев А. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК КРУГЛОЙ ФОРМЫ ПОД ДАЛЬНЕЙШУЮ ВЫТЯЖКУ ИЗ КВАДРАТНЫХ ШТАМПОВКОЙ ОБКАТЫВАНИЕМ НА ОСНОВАНИИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Приведены результаты определения оптимальных технологических параметров процесса получения круглой заготовки из квадратной методом обкатки (торцовой раскаткой) на основании изучения влияния геометрических параметров инструмента и способа нагружения на энергосиловые параметры процесса и производительность.*

**Ключевые слова:** эксперимент, программный комплекс конечно-элементного моделирования, штамповка обкатыванием, сферодвижная штамповка, торцовая раскатка

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Одним из направлений развития процессов осесимметричной вытяжки, позволяющим обеспечить высокое качество изделий и уменьшить отходы металла, является совершенствование и использование способов штамповки обкатыванием, включающим процессы сферодвижной штамповки и торцовой раскатки.

В настоящее время интерес к такого рода штамповке возобновился. Обкатку рассматривают и как вариант получения круглых заготовок под вытяжку из квадратных, что позволяет существенно снизить расходные коэффициенты металла [1-3].

Известно [1, стр. 206], что переформовку заготовки данным методом рекомендуется вести по схеме: 5...6 оборотов – непосредственно переформовкой, заключающейся в двух стадиях: осадка заготовки и непосредственно переформовка; стадия калибровки, длительностью также 5...6 оборотов. Штамповку обкатыванием (торцовую раскатку) рекомендовано проводить с углами наклона оси деформирующего инструмента от 1 до 10°.

При оборотах инструмента в интервале 100...200 об/мин основное время переформовки составляет 4...6 секунд. Опубликованные работы по этой теме содержат резерв повышения производительности про-

цесса за счет выявления оптимальных параметров процесса штамповки обкатыванием.

**Постановка задачи.** Целью исследования является определение оптимальных технологических параметров процесса получения круглой заготовки из квадратной методом обкатки (торцовой раскаткой) на основании изучения влияния геометрических параметров инструмента и способа нагружения на энергосиловые параметры процесса и производительность.

**Изложение материала и его результаты.**

Исследование процесса производилось на основе конечно-элементного моделирования в программном комплексе DeForm 3D.

На первом этапе в среде Компас-3D созданы модели заготовки, матрицы и ряда пуансонов (конусных валков), обеспечивающих угол наклона оси деформирующего инструмента в 1, 2, 3, 4, 5, 7 и 10° (рис. 1 и 2).

На втором этапе в Препроцессоре DeForm 3D заданы условия для моделирования процесса переформовки заготовки по схеме 5+5 (5 оборотов на деформацию, 5 оборотов на калибровку) при угле наклона оси в 3°. Скорость вращения задана в 150 об/мин (15,708 рад/сек). Время на один оборот составляет 0,4 сек. Величина абсолютной подачи инструмента составляет 1,456 мм. Т. е. 0,29125 мм за один оборот или 0,728 мм/сек при условии постоянной скорости движения инструмента (рис. 3 и 4).

В объекте WorkPiece (заготовка) сгенерирована тетрагональная сетка, состоящая из 27 623 элементов (количество узлов – 6315) – рисунок 5.

Критерии перестроения сетки, весовые факторы – стандартные, предложенные программой.

На третьем этапе сгенерирована база и произведён расчет.

Для изучения влияния различных способов нагружения (разной скорости перемещения пуансона) смоделированы для одинаковых геометрических и скоростных параметров процесса (угол  $3^\circ$ , скорость вращения 18,708 рад/сек) разные способы задания перемещения инструмента.

В качестве материала исходной заготовки выбрана медь CuC2, кривая упрочнения которой описывается параметрами (рис. 6).

Поэтапное формоизменение заготовки за каждый оборот пуансона показано на рисунке 7 (40 шагов расчета – один полный оборот деформирующего инструмента), данные из схемы моделирования процесса по скоростной схеме 4+2, тип нагружения 1 (рис. 8), угол пуансона  $3^\circ$ .

Данные, полученные в программном комплексе DeForm 3D далее обработаны в среде Microsoft Excel, после чего построены зависимости «Скорость пуансона – Время», «Усилие – Время», «Работа – Время», «Крутящий момент – Время», приведенные на рисунках 8...11.

В качестве материала исходной заготовки выбрана медь CuC2, кривая упрочнения которой описывается параметрами (рис. 6).

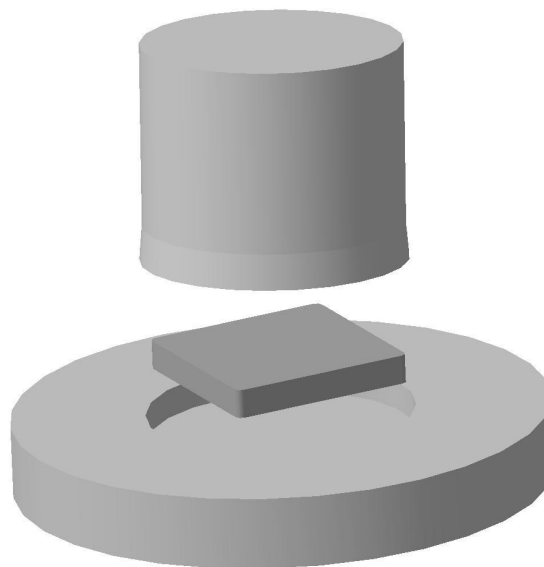


Рисунок 1 3D модели заготовки, матрицы и пуансона под угол в  $5^\circ$  (в разнесенном виде)

Поэтапное формоизменение заготовки за каждый оборот пуансона показано на рисунке 7 (40 шагов расчета – один полный оборот деформирующего инструмента), данные из схемы моделирования процесса по скоростной схеме 4+2, тип нагружения 1 (рис. 8), угол пуансона  $3^\circ$ .

Данные, полученные в программном комплексе DeForm 3D далее обработаны в среде Microsoft Excel, после чего построены зависимости «Скорость пуансона – Время», «Усилие – Время», «Работа – Время», «Крутящий момент – Время», приведенные на рисунках 8...11.

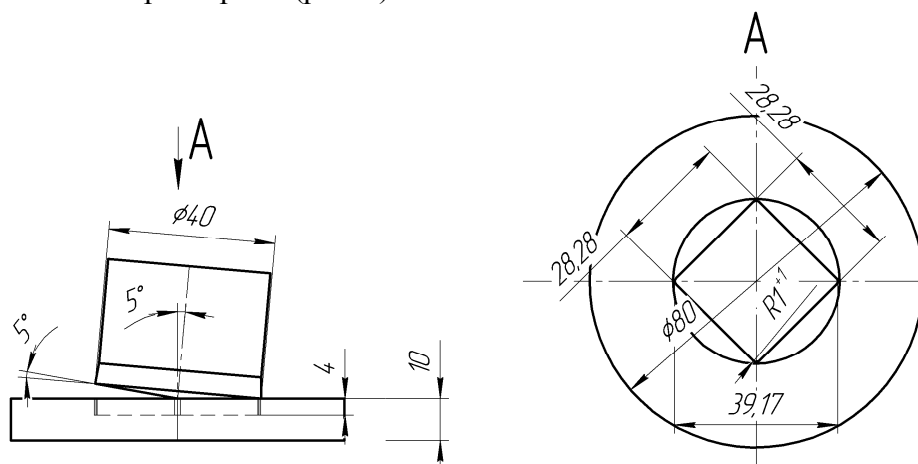


Рисунок 2 Исполнительные размеры матрицы, пуансона ( $5^\circ$ ) и заготовки

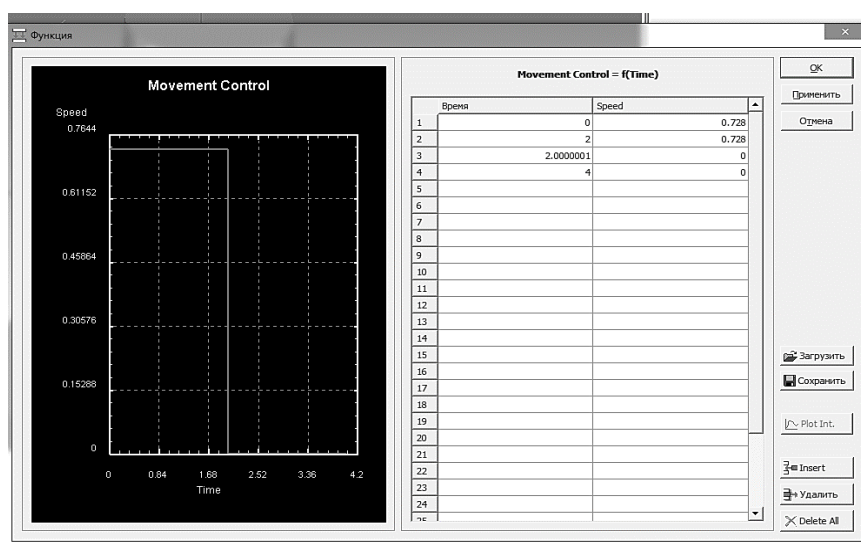


Рисунок 3 Задание перемещения инструмента (функция скорости от времени)

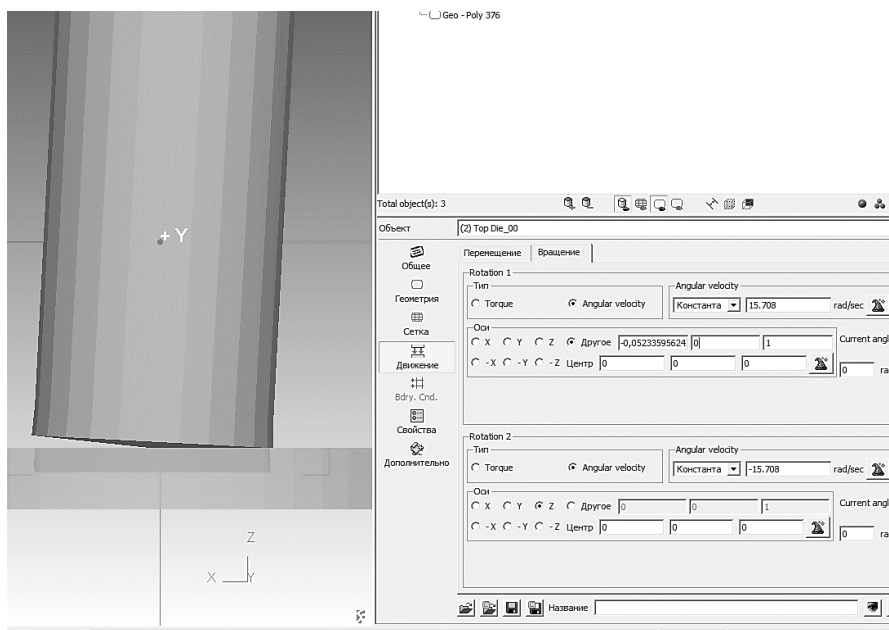


Рисунок 4 Задание вращения (обкатывания) инструмента

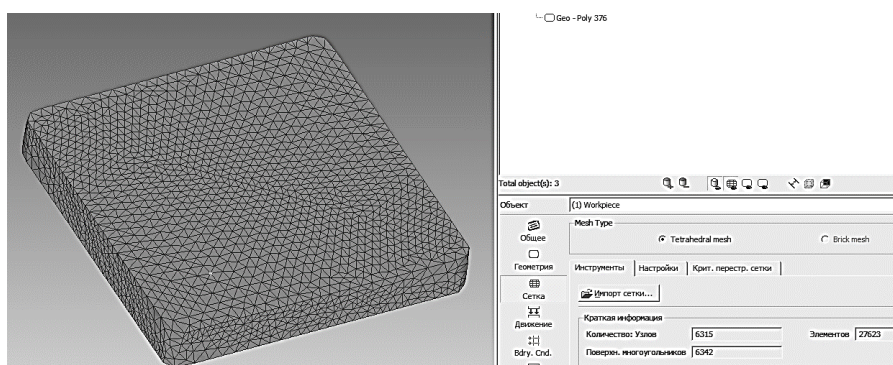


Рисунок 5 Заготовка со сгенерированной сеткой

Flow Stress Data

Generalized Johnson & Cook model

$$\bar{\sigma} = (A + B\bar{\epsilon}^n) \left( 1 + C \ln \left( \frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\bar{\epsilon}}_0} \right) \right) \left( \frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\dot{\bar{\epsilon}}_0} \right)^\alpha (D - ET^{*m})$$

where:  $T^* = \frac{(T - T_{room})}{(T_{melt} - T_{room})}$   $D = D_0 \exp[k(T - T_b)^\beta]$

A	123.7	B	435.1	C	0.022	D <sub>0</sub>	1	E	1
n	0.31	m	0.83	α	0	β	0	$\dot{\bar{\epsilon}}_0$	1
T <sub>room</sub>	20	T <sub>melt</sub>	1083	T <sub>b</sub>	0	k	0		

OK Cancel Graph >>

Рисунок 6 Кривая упрочнения меди CuC2

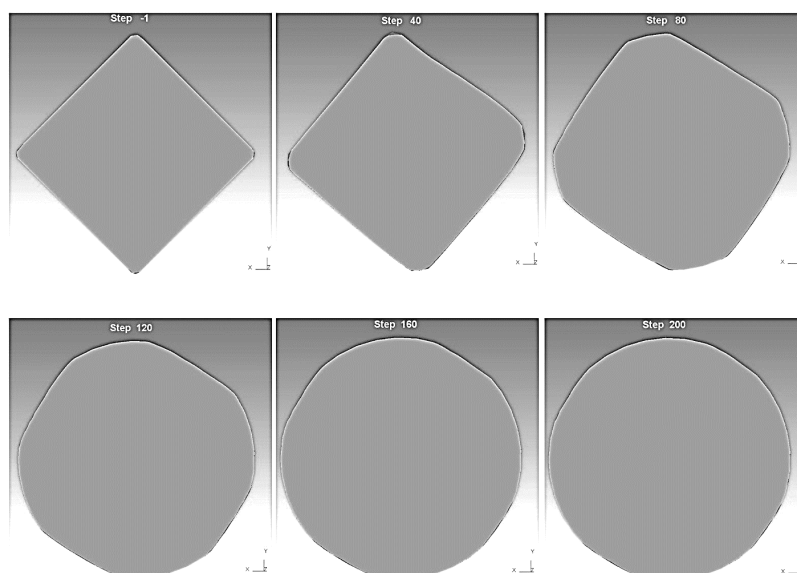


Рисунок 7 Заготовка в плане в различные моменты штамповки

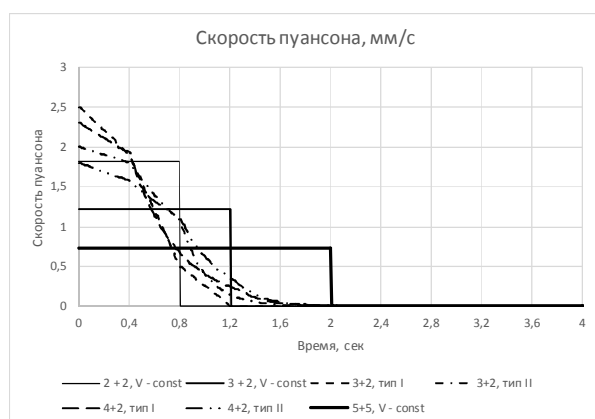


Рисунок 8 Зависимость скорости движения пуансона в функции от времени

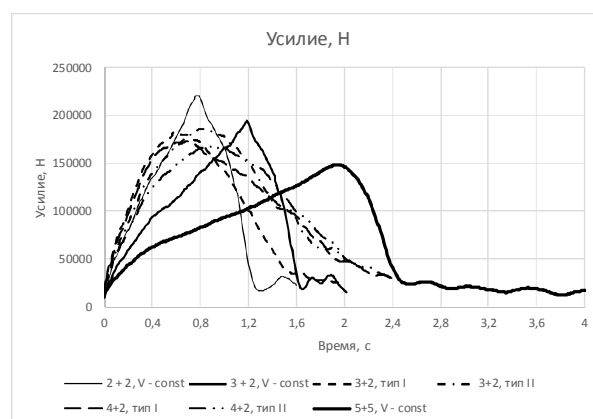


Рисунок 9 Зависимость усилия на пуансоне в функции от времени

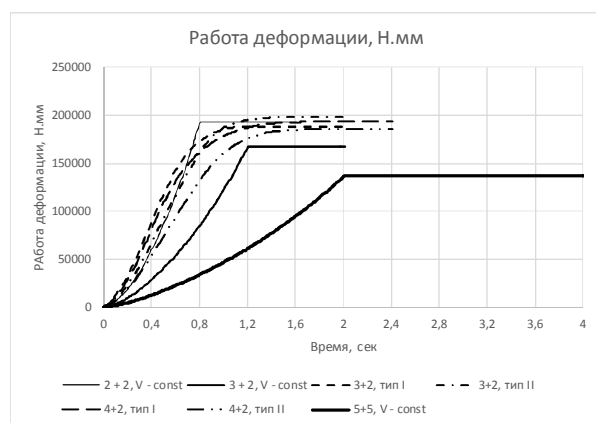


Рисунок 10 Зависимости работы деформации в функции от времени

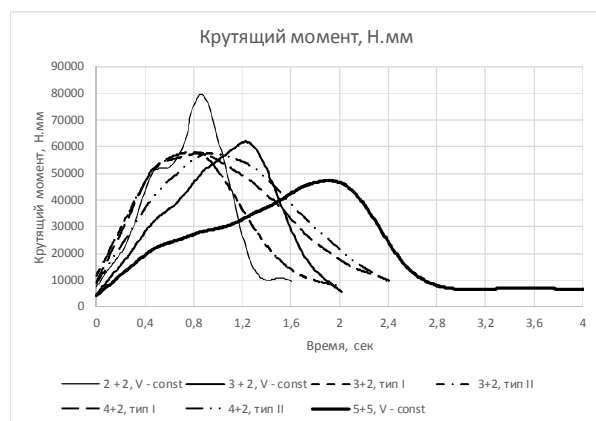


Рисунок 11 Зависимость крутящего момента в функции от времени

Из анализа зависимостей видно, что:

1. Способ нагружения прямо влияет на общее время штамповки. 1 оборот пуансона — 0,4 секунды. Следовательно, в зависимости от типа нагружения общее время штамповки изменяется от 1,2 до 4 сек.

2. Минимальное усилие на пуансоне наблюдается при схеме нагружения (5+5, V - const); при нагружении (2+2, V - const) и (3+2, V - const) усилие максимальное и наблюдается явный пик максимума усилия в последние моменты штамповки и резкий спад усилия в последующий момент калибровки. Остальные схемы нагружения (3+2, тип 1; 3+2, тип 2; 4+2, тип 1; 4+2, тип 2) примерно идентичны.

3. Минимальная работа деформации при нагружении по схеме (5+5, V - const) примерно на 20% ниже работы, затрачен-

ной при штамповке по другим схемам. Работа деформации при всех других схемах нагружения примерно идентична, отличие составляет 5...10%.

4. Явный максимум момента при схеме нагружения (2+2, V - const) примерно на 27% выше других схем нагружения и на 40% выше схемы нагружения с минимальным моментом (5+5, V - const). Т. е. схема нагружения (5+5, V - const) требует минимального крутящего момента, все остальные схемы примерно идентичны и выше минимальной на 13...15%.

5. Схема нагружения (5+5, V - const) обеспечивает минимальные энергосиловые параметры процесса, но имеет максимальное время штамповки в 4 секунды. Схемы (2+2, V - const) и (3+2, V - const) имеют минимальное время штамповки в 1,2 и 1,6 секунды соответственно, но максимальные энергосиловые параметры процесса и однозначно не могут быть рекомендованы для реализации. Остальные схемы нагружения (3+2, тип 1; 3+2, тип 2; 4+2, тип 1; 4+2, тип 2) примерно идентичны, с энергосиловыми параметрами выше на 15%, чем по схеме (5+5, V - const), но общее время штамповки для них 2 (2,4) секунды против 4 секунд для схемы (5+5, V - const). Т. е. производительность выше в 2 (1,6) раза соответственно. Таким образом, для проведения дальнейших исследований штамповки обкатыванием целесообразно применять одну из этих схем нагружения.

С целью исследования влияния угла наклона деформирующего инструмента на энергосиловые параметры процесса смоделирован ряд процессов с одинаковыми условиями нагружения (3+2, тип 1), но различными углами наклона инструмента (1...10°).

Данные, полученные в программном комплексе DeForm 3D, обработаны в среде Microsoft Excel, после чего построены зависимости «Скорость пуансона — Время», «Усилие — Время», «Работа — Время», «Крутящий момент — Время», приведенные на рисунках 12...14.

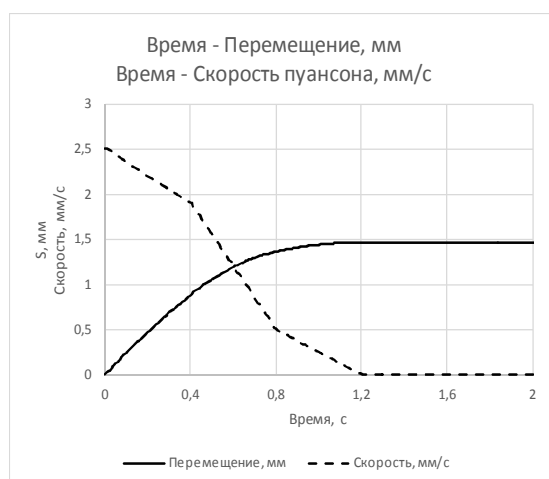


Рисунок 12 Зависимость перемещения и скорости пуансона от времени

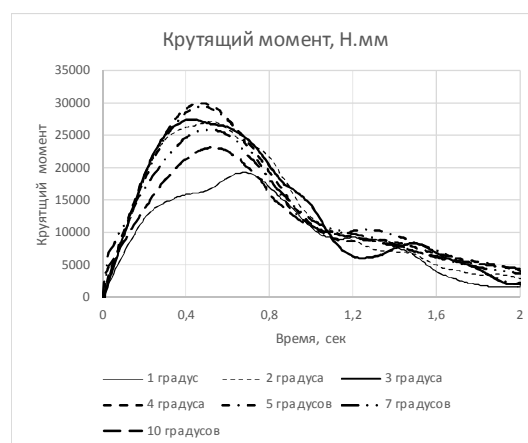


Рисунок 15 Зависимость крутящего момента на пуансоне от времени

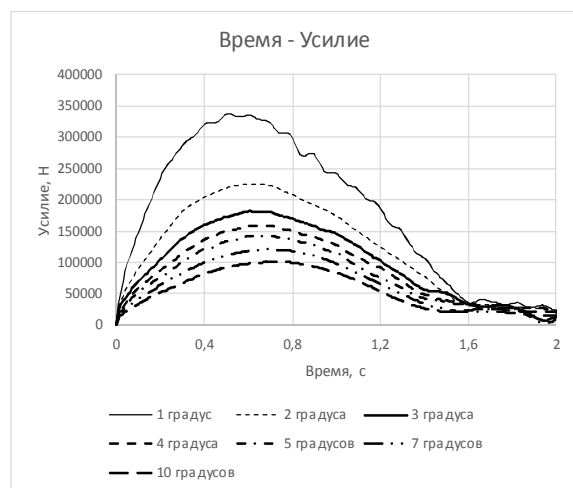


Рисунок 13 Зависимость усилия от времени

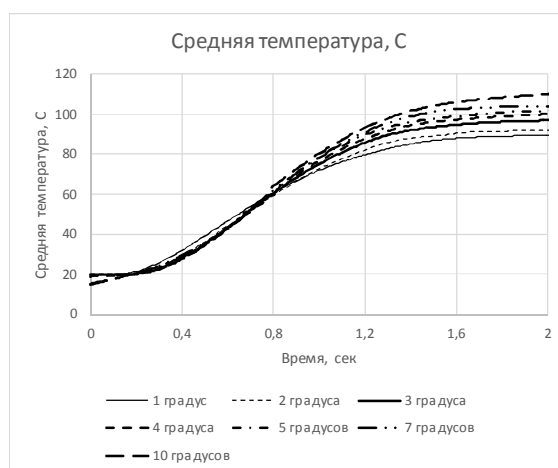


Рисунок 16 Зависимость изменения температуры заготовки от времени

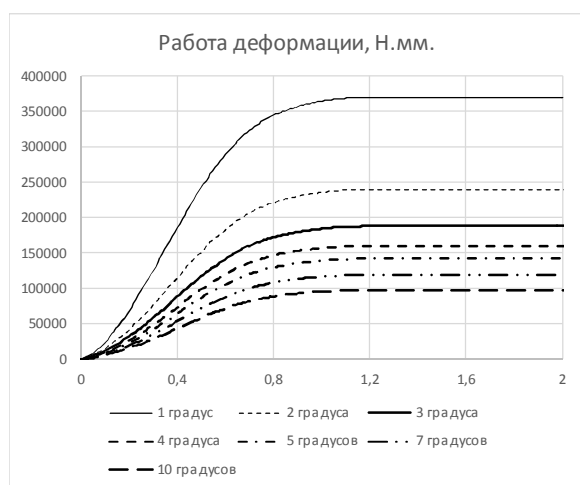


Рисунок 14 Зависимость работы деформации от времени

Анализ полученных зависимостей показывает, что:

1. Зависимость  $F=f(\gamma)$  обратно пропорциональна углу  $\gamma$  с изменением  $F$  от 330 кН при  $1^\circ$  до 100 кН при  $10^\circ$ . При этом средние значения усилия находятся при углах  $\gamma = 3..5^\circ$ .

2. Зависимость  $A=f(\gamma)$  обратно пропорциональна углу  $\gamma$  с изменением  $A$  от 370 Н.м. при  $1^\circ$  до 100 Н.м. при  $10^\circ$ . При этом средние значения работы деформации находятся при углах  $\gamma = 3...4^\circ$ .

3. Зависимость  $M=f(\gamma)$  показывает минимальные значения крутящего момента при  $1^\circ$  – 18 Н.м. При этом средние значения максимума момента находятся при углах  $\gamma = 3...5^\circ$ .

4. Зависимость  $T=f(\gamma)$  показывает незначительное влияние угла  $\gamma$  на разогрев заготовки в процессе штамповки. Разница в нагреве составляет от 85 до 110°C.

#### Выводы:

1. Угол наклона пуансона обратно пропорционально влияет на энергосиловые параметры и размеры очага деформации. Оптимальные углы составляют 3...4°, что соответствует экспериментальным данным в литературных источниках.

2. Скорость движения пуансона влияет на энергосиловые параметры процесса опосредованно, через тип нагружения. При длительном этапе штамповки (5 оборотов на штамповку) влияние скорости нагружения незначительно, при этапе штамповки в 3...4 оборота скорость пуансона на последнем обороте должна быть минималь-

ной для получения оптимальных энергосиловых параметров процесса.

3. Тип нагружения влияет и на время штамповки, и на энергосиловые параметры процесса. При постоянной скорости нагружения период штамповки должен составлять не менее 5 оборотов, при плавном изменении скорости движения пуансона от максимума до минимума период этапа штамповки достаточен в 3 оборота.

Применение разработанной модели позволяет теоретически исследовать процесс штамповки обкатыванием и определить оптимальные технологические параметры. Использование принципов построения этой модели позволит рассматривать с целью оптимизации и процессы вытяжки обкатыванием

#### Библиографический список

1. Матвийчук, В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов [Текст]: монография / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. — Краматорск, 2009. — 268 с.
2. Матвийчук, В. А. Повышение деформируемости листовых заготовок для вытяжки путем их предварительного гофрирования [Текст] / В. А. Матвийчук // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. — 2007. — № 1 (7). — С. 99–104.
3. Богоявленский, К. Н. Переформовка квадратных листовых заготовок в круглые штамповкой обкатыванием [Текст] / К. Н. Богоявленский, Н. М. Ёлкин, В. Д. Линд, В. И. Курчанов, С. Н. Кункмн // Кузнечно-штамповочное производство. — 1989. — № 1. — С. 13–14.

© Митичкина Н. Г.

© Токарев А. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М., к.т.н., зам. начальника сортопрокатного цеха «Стан 600» ПАО «АМК» Чичканом А. А.*

Статья поступила в редакцию 25.11.16.

д.т.н. Мітічкіна Н. Г., Токарев О. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК КРУГЛОЇ ФОРМИ З КВАДРАТНИХ ПІД ПОДАЛЬШЕ ВИТЯГУВАННЯ ШТАМПУВАННЯМ ОБКАТУВАННЯМ НА ПІДСТАВІ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Наведено результати визначення оптимальних технологічних параметрів процесу отримання круглої заготовки з квадратної методом обкатуванням (торцевої розкатки) на підставі вивчення впливу геометричних параметрів інструмента і способу навантаження на енергосилові параметри процесу і продуктивність.

**Ключові слова:** експеримент, програмний комплекс кінцево-елементного моделювання, штампування обкатуванням, сферорухоме штампування, торцева розкатка.

**PhD Mitichkina N. G., Tokarev A. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**DETERMINING THE OPTIMUM PARAMETERS FOR PRODUCING CIRCULAR BILLETS FROM SQUARE BILLETS FOR FURTHER DRAWING BY PUNCHING THROUGH BURNISHING USING FINITE ELEMENTS MODELING**

*The results of determining the optimum process parameters of producing circular billets from square billets through burnishing method (a face rolling) based on studying the influence of geometric parameters of the tool and the loading method onto productivity and energy-power processes.*

**Key words:** *punching through burnishing, face rolling, temperature and speed conditions, deformation zone, mathematical modeling.*

УДК 621. 771.01

Горецкий Ю. В.,  
к.т.н. Денищенко П. Н.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## УЧЕТ УПРУГОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ ВЫСОКИХ РАСКАТОВ

*Рассмотрено влияние различных технологических параметров на упругие свойства системы валок-раскат. Проанализированы методики расчета очага деформации с учетом упругого сжатия валков и постдеформационного восстановления раската. В расчете параметров очага деформации учтено влияние температуры на изменение модуля упругости, выявлено изменение длины дуги захвата и толщины раската от упругого последствия. Учет упругой составляющей при деформации позволит повысить точность расчетов и достичь требуемых показателей по точности проката.*

**Ключевые слова:** очаг деформации, упругая деформация, упругое восстановление раската, точность листового проката.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Основными показателями, определяющими уровень качества листового проката, являются точность размеров и формы листов и полос, соответствие требованиям по химическому составу и физико-механическим свойствам, качеству поверхности. Показателями качества по точности листового проката, обеспечение которых представляет наибольшие трудности, есть отклонения от номинальной толщины и постоянство толщины по длине и ширине (продольная и поперечная разнотолщинность). Чем меньше отклонения (допуски) толщины или разнотолщинности от номинальной величины, тем качество проката выше [1].

Для повышения точности проката необходимо иметь совершенные системы управления процессом деформации, которые базируются на высокоточных расчетах процесса прокатки, в том числе и характеристик очага деформации металла. Геометрическими параметрами очага деформации являются обжатие, уширение, дуга и угол захвата [2].

Поскольку все металлы и сплавы, подвергаемые прокатке, обладают упругими и пластическими свойствами, пластической

деформации полосы валками всегда предшествует и завершает ее упругая деформация: во входной части очага – это деформация упругого сжатия, в выходной – деформация упругого восстановления. Валки под действием силы прокатки упруго прогибаются, а в зоне контакта с полосой – сжимаются упруго в радиальном направлении. В результате упруго-пластического взаимодействия полосы с валками искажается форма контактной линии, увеличивается длина очага деформации и изменяются все параметры процесса прокатки.

Наиболее часто в инженерных расчетах и математических моделях для управления процессами прокатки используются упрощенные формулы для определения параметров очага деформации, что вносит определенную, а иногда и существенную погрешность в расчеты энергосиловых параметров деформации металла и точности проката.

Исходя из этого, для расширения возможностей управления процессом деформации металла с целью повышения точности проката при горячей прокатке необходимо учитывать параметры упругой составляющей валков и полосы в очаге деформации.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является расчет параметров очага деформации при горячей прокатке толстых листов с учетом упругой составляющей деформации валков и полосы и анализ упругого восстановления полосы от изменяемых параметров процесса прокатки.

**Изложение материала и его результаты.** Упругие изменения в металлах подчиняются закону Гука. Для практических целей необходимо знать константы упругости, характеризующие тот или иной материал. Упругость, так же как и другие физические свойства, может быть использована для исследования металлов и сплавов и решения задач металловедения и обработки металлов давлением. Параметры, характеризующие упругость связаны между собой двумя соотношениями [3]:

$$G = \frac{E}{2(\mu + 1)}, \quad (1)$$

$$D \approx \frac{E}{3(1 - 2\mu)}. \quad (2)$$

Три указанные модуля ( $E$ ,  $G$ ,  $D$ ) характеризуют пропорциональность между напряжением и упругой деформацией соответственно при растяжении, сдвиге и всестороннем сжатии.

Модуль упругости является анизотропным свойством, зависящим от направления в кристалле. Модуль упругости металла может быть изменен путем сплавления с некоторыми растворяющимися в нем элементами, так как при этом в кристаллическую структуру вводятся чужеродные атомы, которые изменяют величину сил, возникающих при данной деформации. Однако в общем случае требуются относительно большие концентрации добавок для того, чтобы вызвать даже незначительное изменение модуля упругости. Например, в обычных технических сталях общее содержание примесей никогда не превышает нескольких процентов, и модуль упругости во всех случаях имеет почти постоянное значение, равное  $2,2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>. Модуль упругости любого

пластичного металла может быть слегка увеличен в результате механической обработки, но и в этом случае изменение модуля также незначительно.

В некоторых сплавах (особо важны в этом отношении стали) специальной термической обработкой можно сохранить при комнатной температуре полиморфные формы (например, аустенит), устойчивые только при более высоких температурах, или получить метастабильные фазы (например, мартенсит), которые по своей кристаллической структуре значительно отличаются от устойчивых в данных условиях. Однако изменение модуля упругости, обусловленное термической обработкой, всегда настолько мало, что не имеет существенного значения в техническом отношении и в общем случае им так же можно пренебречь. Таким образом, для существенного изменения жесткости существуют только два способа: увеличение толщины изделия и замена вида сплава [4].

Однако согласно эмпирическому уравнению Портевена [5] с повышением температуры объем увеличивается, следовательно, исходя из формулы (3), модуль упругости будет уменьшаться:

$$E = kT_s^a / V^b, \quad (3)$$

где  $T_s$  – абсолютная температура плавления;  $V$  – удельный объем;  $k$ ,  $a$  и  $b$  – константы.

Эта прямая зависимость  $E$  и  $T_s$  следует из того, что обе эти величины характеризуют силу межуатомной связи.

Поскольку температурный коэффициент модуля упругости, так же как коэффициент термического расширения металлов, зависит от температуры плавления  $T_s$ , целесообразно рассмотреть зависимость модуля упругости  $E$  не от фактической температуры  $T$ , а от приведенной температуры  $T/T_s$  (рис. 1). Для большинства металлов модуль упругости  $E$  уменьшается почти линейно с повышением температуры. Полиморфное  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  – превращение желе-

за повышает модуль упругости  $E$  в связи с увеличением компактности решетки. При переходе железа из ферромагнитного состояния в парамагнитное модуль упругости  $E$  уменьшается [5].

Используя данные рисунка 1, можно определить значения модуля упругости для стали в температурном интервале начала и конца прокатки и результаты отразить в таблице 1.

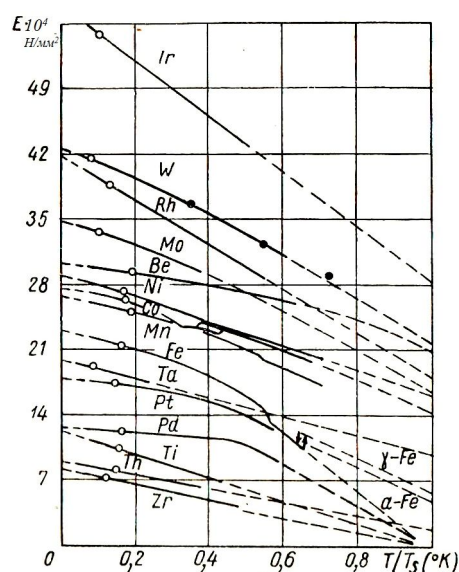


Рисунок 1 Температурная зависимость модуля нормальной упругости [5]

Из таблицы 1 видно, что с повышением температуры в сталях модуль упругости снижается, следовательно упругие свойства стали заметно понижаются. Но, даже при высоких температурах, таких как температура выдачи слэбов из нагревательных печей (1250°C), модуль упругости оказывает влияние на условия деформации. Это свидетельствует о том, что при необходимости точных расчетов характеристик очага деформации при высоких температурах желательно учитывать упругие свойства раската.

Прокатка толстых полос осуществляется только в горячем состоянии. Нагретый до высоких температур металл отличается меньшим сопротивлением деформации и повышенной пластичностью, что позволяет вести процесс горячей прокатки с большими единичными (частными) обжа-

тиями. Пластическая деформация металла при прокатке толстых полос характеризуется малыми значениями параметра  $R/h$  (где  $R$  и  $h$  – радиус валков и толщина полосы до прокатки).

Таблица 1

Значения модуля упругости при температурах начала и конца прокатки толстолистовой стали

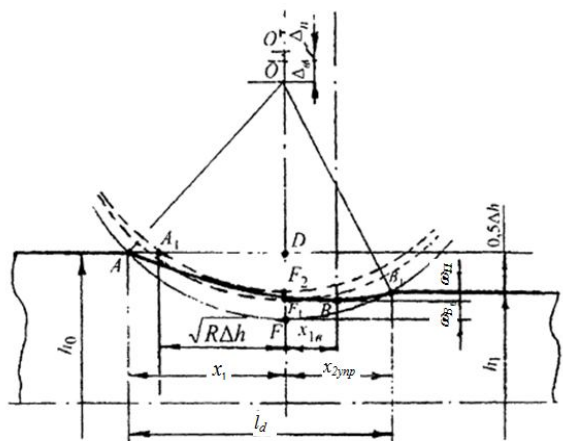
Температура (Т°С)	Модуль упругости (Е, МПа)
800	$1,49 \cdot 10^5$
850	$1,43 \cdot 10^5$
900	$1,28 \cdot 10^5$
950	$1,23 \cdot 10^5$
1000	$1,19 \cdot 10^5$
1050	$1,13 \cdot 10^5$
1100	$1,09 \cdot 10^5$
1150	$1,0 \cdot 10^5$
1200	$0,96 \cdot 10^5$
1250	$0,87 \cdot 10^5$

Отличительной особенностью процесса горячей прокатки с малыми значениями параметра  $R/h$  являются большая относительная толщина прокатываемых полос, высокая пластичность деформируемого металла и малая податливость инструмента (валков). Поэтому в теории продольной прокатки при описании данного процесса принимают, что полоса является жестко-пластическим телом, а валки – идеально жесткими телами. При прокатке полосы, обладающей такими свойствами, пластическая деформация металла начинается в сечении входа и заканчивается в сечении выхода из валков. Валки при этом не деформируются. Длина дуги контакта при таком процессе описывается упрощенными формулами (4 – 6):

$$\ell_d = R \cdot \alpha, \quad (4)$$

$$\ell_d = \sqrt{R \cdot \Delta h}, \quad (5)$$

$$\ell_d = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}, \quad (6)$$



личается меньшим сопротивлением деформации и повышенной пластичностью, но даже при высоких температурах металл, как и другие материалы, имеет упругие свойства, следовательно, как и в случае с холодной прокаткой, определение длины дуги контакта при горячей прокатке может рассчитываться по одним и тем же расчетным формулам. В связи с этим проведен анализ геометрического очага деформации и его составляющих элементов при горячей прокатке.

Местное сплющивание валков и упругое восстановление полосы на выходе из очага деформации оказывает влияние на параметры деформации. Упругая деформация может быть настолько значительной, что окажет заметное влияние на увеличение дуги захвата. Это явление имеет большое значение при определении энергосиловых параметров прокатки и формировании точности проката.

Для исследования очага деформации при горячей прокатке были рассмотрены и просчитаны некоторые из методик определения длины дуги захвата  $l_d$ , принимая

следующие исходные данные:  $H = 142$  мм,  $\Delta h = 18$  мм,  $D_p = 1000$  мм,  $p_{cp} = 63,835$  Н/мм<sup>2</sup>,  $P = 14,621$  МН,  $B = 2414$  мм в условиях ТЛС 3000 ПАО «АМК».

Результаты расчета сведены в таблицу 2 и свидетельствуют, что различные методики дают приблизительно одинаковые значения длины дуги контакта, но упрощенные методики дают большие погрешности относительно методик, учитывающих упруго-пластические свойства прокатываемого металла и рабочего валка.

Так же, по методике А.И. Целикова, был проведен расчет длины дуги контакта при различных температурах прокатки с учетом изменения модуля упругости прокатываемого металла (использовались данные таблицы 1).

Расчет длины дуги контакта с учетом упругих изменений в системе валок-раскат указывает (рис. 3), что снижение модуля упругости приводит к уменьшению протяженности очага деформации.

Таблица 2

Длина дуги контакта, вычисленная по различным методикам

Методика	Параметр $l_d$ (мм)
По общепринятой методике определения $l_d$	94,868
По итерационной методике с учетом сплющивания валков	95,253
По формуле Хитчкока с учетом упругой деформации валков	95,373
По формуле В. Робертса с учетом упругого сжатия валков	94,875
По методике А.И. Целикова с учетом упругой деформации полосы и валка	96,117

Таблица 3

Расчет длины дуги контакта при различных температурах

$T(^{\circ}\text{C})$	$E \cdot 10^5$ (МПа)	$\theta_B$	$\theta_{II} \cdot 10^{-6}$	$P_{cp}$ (МПа)	$x_I$ (мм)	$x_{2уп}$ (мм)	$l_d$ (мм)
800	1,49	1,968	1,945	225,664	94,887	3,532	98,419
850	1,43		2,027	184,187	94,884	2,943	97,827
900	1,28		2,264	152,090	94,882	2,574	97,457
950	1,23		2,356	126,893	94,88	2,195	97,075
1000	1,19		2,435	106,859	94,878	1,882	96,760
1050	1,13		2,565	90,746	94,877	1,645	96,522
1100	1,09		2,659	77,651	94,876	1,437	96,313
1150	1,0		2,898	66,908	94,875	1,302	96,177
1200	0,96		3,019	58,017	94,874	1,157	96,031
1250	0,87		3,331	50,602	94,874	1,072	95,947

На рисунке 4 график зависимости зоны упругого восстановления раската  $x_{2упр}$  от модуля упругости  $E$  отображает результаты расчета, указывающие, что с повышением температуры и снижением модуля упругости протяженность зоны упругого восстановления раската уменьшается.

Согласно исследованиям А.И. Целикова [8, 9] при постоянном контактом давлении для определения сплющивания валков  $\omega_B$  и полосы  $\omega_{II}$  используют упрощенное выражение

$$\omega = 2p \frac{(1 - \nu^2)}{\pi E}, \quad (10)$$

где  $p$  – погонная нагрузка, приходящаяся на единицу длины бочки валков и равна

$$p = \frac{P}{b},$$

где  $P$  – усилие прокатки, Н;  $b$  – ширина раската, мм.

Для рабочего валка на рисунке 5 приведен показатель  $\omega_B$  в зависимости от различной ширины раскатов.

На рисунке 6 приведены результаты расчета величины упругого восстановления полосы  $\omega_{II}$  в зависимости от температуры прокатки и ширины раската.

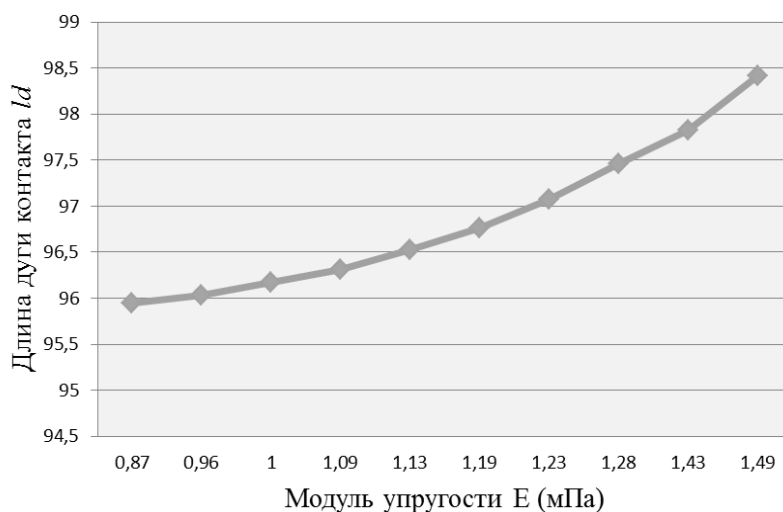


Рисунок 3 График зависимости длины дуги контакта  $l_d$  от модуля упругости

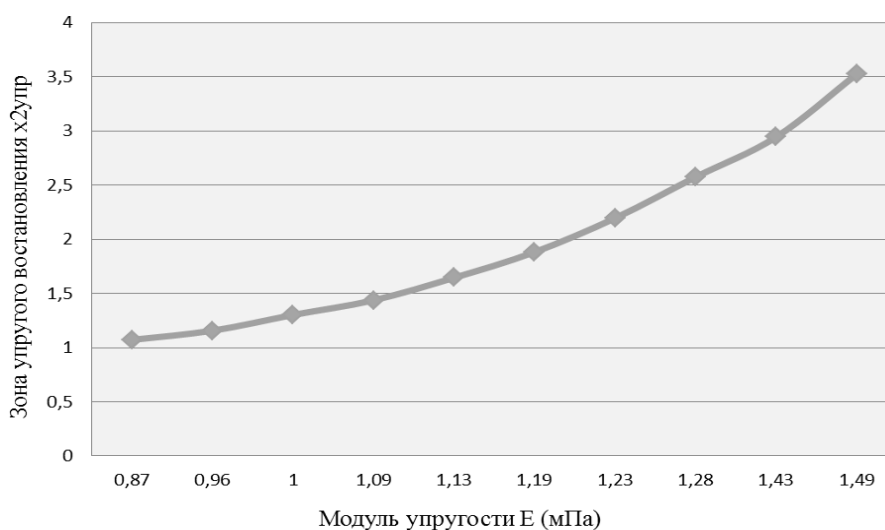
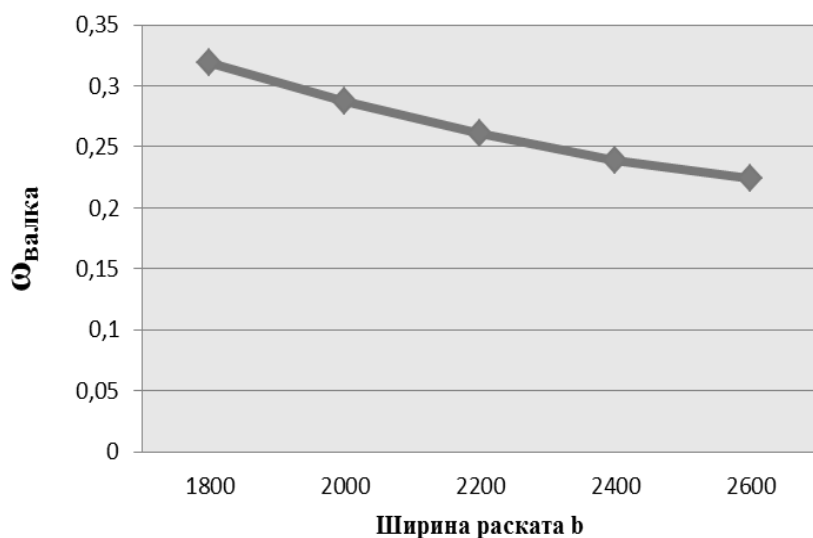
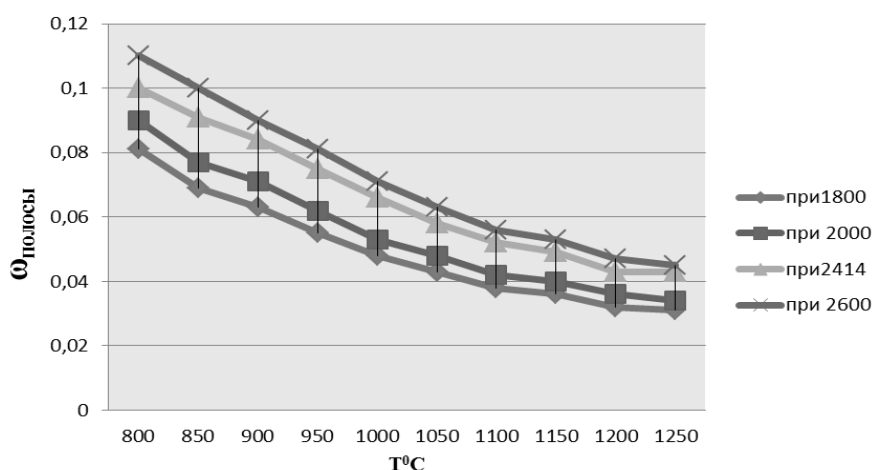


Рисунок 4 График зависимости параметра  $x_{2упр}$  от модуля упругости

Рисунок 5 График зависимости показателя  $\omega_B$  от различной ширины раскатовРисунок 6 График зависимости величины упругой деформации  $\omega_{II}$  прокатываемой полосы от температуры при разной ширине раската

Исследовано влияние диаметра рабочих валков на упругую составляющую полосы  $x_{2\text{упр}}$  при условии, что диаметр валков меняется от номинального диаметра  $D_n = 1000$  мм до минимального  $D_m = 940$  мм при постоянной температуре  $T = 1166^\circ\text{C}$ , которой соответствует модуль упругости  $E = 1 \cdot 10^5$  МПа. Расчет проведен по методике А.И. Целикова [10].

Результаты расчета сведены в таблицу 4; из них следует, что с уменьшением диаметра рабочих валков в связи с износом или переточкой параметр  $x_{2\text{упр}}$ , характеризующий упругое состояние полосы, уменьшается, что может быть объяснено уменьшением площади контакта прокатываемого металла и валков.

Таблица 4

Зависимость параметра  $x_{2\text{упр}}$  от изменения диаметра рабочего валка

D (мм)	1000	990	980	970	960	950	940
$x_{2\text{упр}}$ , мм	1,243	1,23	1,217	1,205	1,192	1,180	1,168

### Выводы и направление дальнейших исследований.

В работе проведены исследования очага деформации при горячей прокатке, выявлены особенности изменения элементов очага деформации от условий прокатки. Проведен теоретический анализ различных методик по расчету параметров очага деформации, учитывающих упругие деформации как валков, так и прокатываемой полосы.

Рассмотрено влияние различных факторов на упругие характеристики металла. Выявлено влияние температурного фактора на модуль упругости раската. Так, в температурном интервале деформации металла 1200°С – 760°С модуль упругости меняет свои значения от  $0,96 \cdot 10^5$  МПа до  $1,43 \cdot 10^5$  МПа соответственно.

Выполнен сравнительный анализ методик по определению длины очага деформации при горячей прокатке с учетом упругой составляющей процесса. Проведено численное сравнение результатов расчета по приведенным методикам, которое показало, что большей точностью обладает формула

А.И. Целикова, так как она учитывает не только упругую деформацию валка (что характерно для холодной прокатки), но и упругую деформацию прокатываемой полосы.

В результате проведенных исследований было определено, что для условий прокатки на стане 3000 с повышением температуры от 800°С до 1250°С модуль упругости уменьшается от  $1,49 \cdot 10^5$  до  $0,87 \cdot 10^5$  МПа, вследствие чего длина очага деформации при горячей прокатке уменьшается с 98,419 мм до 95,947 мм. С уменьшением модуля упругости величина упругого восстановления полосы уменьшается с 3,532 мм до 1,072 мм, также величина упругого восстановления полосы зависит от диаметра валков и ширины раската.

Таким образом, учет влияния температуры прокатки на упругие характеристики валка и раската при горячей прокатке позволяет более точно определять характерные участки очага деформации и, следовательно, повысить точность определения энергосиловых параметров прокатки и управлять точностью проката.

### Библиографический список

1. *Технология прокатного производства: в 2 кн.: кн. 2* / М. А. Беняковский и др.; под ред.: В. И. Зюзина, А. В. Третьякова. — М. : Металлургия, 1991. — 862 с.
2. ГОСТ 19903 – 74 *Сталь листовая горячекатаная. Сортамент.*
3. Ильющин, А. А. *Сопротивление материалов [Текст]* / А. А. Ильющин, В. С. Ленский. — М. : Физматгиз, 1959. — 372 с.
4. Мортон, К. *Смит Основы физики металлов [Текст]* / К. Мортон. — М. : Металлургиздат, 1962. — 456 с.
5. Лившиц, Б. Г. *Физические свойства металлов и сплавов [Текст] : учебник* / Б. Г. Лившиц. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Металлургия, 1980. — 320 с.
6. Смирнов, В. С. *Теория обработки металлов давлением [Текст]* / В. С. Смирнов. — М. : Металлургия, 1973. — 496 с.
7. *Теория продольной прокатки [Текст] : учеб. для магистров Вузов* / Я. Д. Василев, А. А. Минаев. — Донецк : УНИТЕХ, 2010. — 456 с.
8. Целиков, А. И. *Теория продольной прокатки [Текст]* / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. — М. : Металлургия, 1980. — 320 с.
9. Коновалов, Ю. В. *Расчет параметров листовой прокатки [Текст]* / Ю. И. Коновалов, А. Л. Остапенко, В. И. Пономарев. — М. : Металлургия, 1986. — 432 с.
10. Целиков, А. И. *Теория расчета усилий в прокатных станах [Текст]* / А. И. Целиков. — М. : Мет-издат, 1962. — 496 с.

© Горецкий Ю. В.

© Денищенко П. Н.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М., к.т.н., зам. начальника сортопрокатного цеха «Стан 600» ПАО «АМК» Чичканом А. А.*

*Статья поступила в редакцию 02.11.16.*

**Горецкий Ю. В., к.т.н. Денищенко П. М. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **УРАХУВАННЯ ПРУЖНОЇ СКЛАДОВОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТЦІ ВИСОКИХ РОЗКАТІВ**

*Розглянуто вплив різних технологічних параметрів на пружні властивості системи валок-розкат. Проаналізовано методики розрахунку осередку деформації з урахуванням пружного стиснення валків і постдеформаційного відновлення розкату. У розрахунку параметрів осередку деформації враховано вплив температури на зміну модуля пружності, виявлено зміну довжини дуги захоплення і товщини розкату від пружної післядії. Облік пружної складової при деформації дозволить підвищити точність розрахунків і досягти необхідних показників по точності прокату.*

**Ключові слова:** *вогнище деформації, пружна деформація, пружне відновлення розкату, точність листового прокату.*

**Goreckiy Yu. V., PhD Denishchenko P. N. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

#### **ACCOUNTING OF ELASTIC COMPONENT OF DEFORMATION AT HIGH BREAKDOWN ROLLING**

*The influence of diverse process conditions on elastic properties of roll-breakdown system has been regarded. The design procedures of deformation zone have been analyzed considering elastic compression of rolls and postdeformed reconstruction of breakdown. The temperature effect on changing the modulus elasticity was taken into account in designing parameters, the change of contact arc length and breakdown thickness with elastic aftereffect has been determined. Accounting the elastic component at deformation allows enhancing the design accuracy and succeeded in obtaining required indexes on rolling precision.*

**Key words:** *deformation zone, elastic deformation, elastic reconstruction of breakdown, precision of sheet rolling.*

УДК 669

Ромачнук Я. А.,  
Горчаков А. Р.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛА СО ШЛАКОМ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША

*Приведены результаты экспериментальных исследований физического моделирования процесса перемешивания металла со шлаком в ходе продувки металла. Получена зависимость изменения площади раскрытия зеркала металла от расхода моделируемого газа.*

**Ключевые слова:** шлак, сталь, физическая модель, агрегат «ковш-печь», окисление, инертный газ.

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Современные технологии производства стали предполагают выполнение части технологических операций по доводке жидкого металла по химическому составу и температуре непосредственно в сталеразливочном ковше.

В настоящее время одним из перспективных направлений в технологической цепи получения высококачественной стали является использование агрегата «ковш-печь», что приводит к снижению себестоимости получаемой стали и повышению ее качества.

Одной из проблем внепечной обработки стали является раскрытие зеркала металла при продувке инертными газами. При раскрытии зеркала металла жидкая сталь вступает в реакцию с кислородом атмосферы, что приводит к образованию оксидов железа, понижению качества стали по загрязненности неметаллическими включениями, снижению процента выхода годной стали.

**Постановка задачи.** Разработка эффективных решений для совершенствования процесса внепечной обработки стали при продувке инертными газами.

**Изложение материала и его результаты.** Известно, что при вдувании инертного газа в жидкую ванну ковша пузырьки газа поднимаются в потоке газожидкостной смеси, которая образует приподнятую область, или так называемый «глаз», на поверхности расплава. Восходящий поток смеси газа и металла частично отражается от поверхно-

сти и отодвигает шлаковый слой к периферии зеркала ковша. Если шлаковый слой достаточно тонкий, данный процесс приводит к образованию оголенной области жидкого металла, подверженной атмосферному воздействию. Необходимо отметить, что процесс образования «глаза» достаточно недавно стал предметом серьезных исследований. При этом до настоящего времени в литературе не представлены исследования о поведении шлака в зоне выхода газовой струи при различном положении продувочного блока в днище, а также сравнительные исследования при продувке через один и два продувочных блока.

Динамика перемешивания металла со шлаком в процессе его продувки аргоном представляется крайне важным технологическим этапом, определяющим выбор критериев оптимизации параметров продувки для различных стадий внепечной обработки. Достаточно очевидно, что интенсивность перемешивания зависит от расхода вдуваемого аргона, а также от количества продувочных узлов. Вместе с тем повышение расхода вдуваемого газа приводит к интенсификации разбрызгивания металла на границе шлак-металл и, как следствие, к его интенсивному вторичному окислению. Кроме того, интенсивное движение циркуляционных потоков вдоль стенок ковша может приводить к повышенному износу рабочего слоя футеровки.

Физическое моделирование [1] осуществлялось на модели, показанной на рисунке 1.



Рисунок 1 Физическая модель сталеразливочного ковша

Конструкция модели позволяла изменять количество продувочных узлов (один или два) и их положение в днище. Положение двух продувочных узлов в днище ковша определялось углом, который измерялся в горизонтальной плоскости относительно вертикальной оси ковша. С учётом специфики работы агрегата «ковш-печь», заключающейся в расположении трех электродов в центральной части зеркала шлака, для исследований были выбраны углы в  $100^\circ$  как наиболее характерные [2]. В качестве жидкостей, моделирующих расплав стали и шлака, применяли соответственно воду и машинное масло, имеющие различную вязкость при разной температуре. Для продувки использовали сжатый воздух.

Для удобства визуализации происходящих процессов вода подкрашивалась цветными чернилами. Продувка осуществлялась через две продувочные пробки, установленные на разном расстоянии от центра ковша по конструкции сталеразливочного ковша емкостью 300 т, который при-

меняется на современных металлургических предприятиях. Расход газа варьировался от 0,1 до 0,8 л/мин.

Выбор машинного масла для имитации шлака на поверхности металла объясняется определенной совокупностью свойств масла, в т. ч. его диспергированием при контакте с водой. В частности, машинное масло обеспечивает низкое межфазное натяжение между ним и водой, что соответствует поведению жидкого шлака на поверхности стали.

При сравнительно небольшом расходе вдуваемого воздуха (0,20 л/мин), соответствующем удельному расходу энергии на уровне  $\varepsilon = 0,8\text{--}0,9$  Вт/т, установлено следующее. В начальный момент времени (сразу после старта продувки) образуется узкая газожидкостная струя, состоящая из мелких пузырьков преимущественно сферической формы, которые, достигая границы раздела вода-масло, увлекают за собой жидкость и образуют в слое масла небольшой конус, а часть пузырьков выходит на поверхность раздела жидкой фазы.

Далее по ходу продувки струя газожидкостного потока расширяется, число небольших пузырьков в ней растет, при этом увеличивается и размер конуса жидкости в слое масла. В результате на поверхности масла происходит выход большего числа пузырьков и образуется пятно (рис. 2).

Затем при дальнейшей продувке число пузырьков, достигающих поверхности, увеличивается, они становятся больше по размерам, и пятно увеличивается в размерах как показано на рисунке 3.

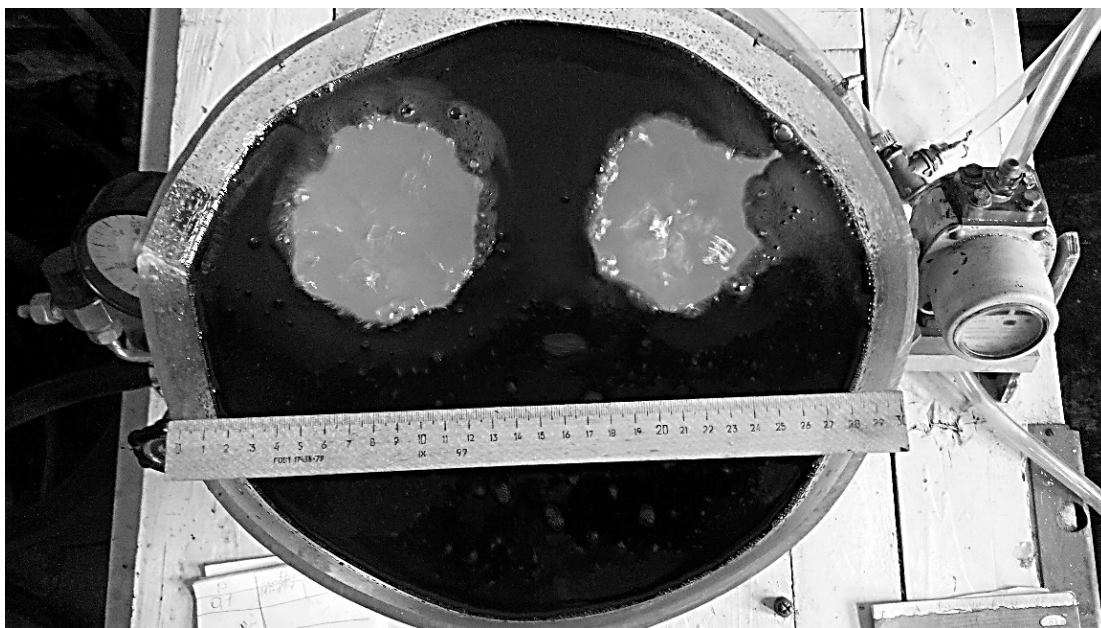


Рисунок 2 Образование пятна раскрытия зеркала металла

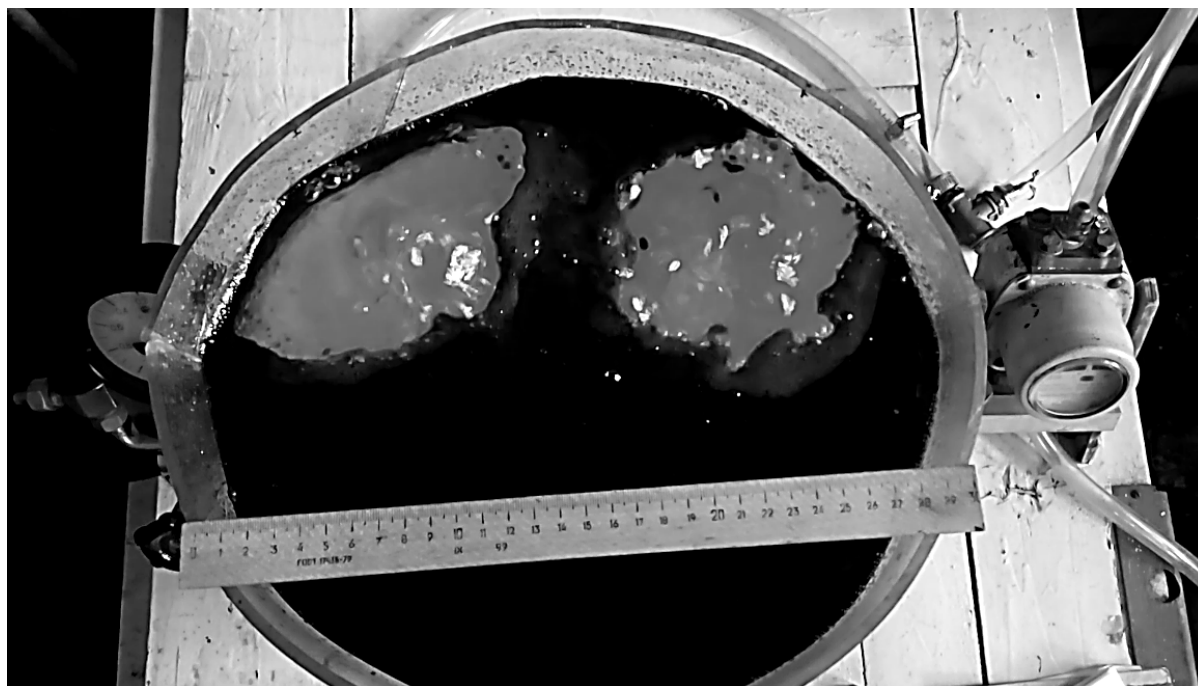


Рисунок 3 Увеличение пятна раскрытия зеркала металла

Далее большие пузырьки на поверхности начинают лопаться, образуя более мелкие, а к ним присоединяются пузырьки, вновь доставляемые газожидкостным потоком. Тем самым количество пузырьков, образующих пятно на поверхности масла, растет, расширяя его размеры. Соответственно, это способствует развитию газлифтного эффекта, что приводит к увеличению доли воды в слое масла.

По ходу продувки это явление усиливается, в результате чего в слое масла образуются малоскоростные горизонтально направленные потоки, расходящиеся к стенкам сосуда и увлекающие с собой некоторую часть газовых пузырьков [3].

При увеличении расхода вдвухаемого газа (0,4–0,8 л/мин) описанные выше процессы протекают более интенсивно, а образующийся жидкостный конус имеет изначально больший размер. Характерной особенностью продувки жидкости газом следует отметить разбрызгивание ее некоторой части, которая вылетает за пределы слоя масла. Периферийные расходящиеся газожидкостные потоки, проникая в слой масла, перемещаются горизонтально к стенкам сосуда, а затем направляются вниз к границе раздела вода-масло, где увлекают за собой порцию масла, которая внедряется в водный объем как показано на рисунке 4.

Такое сильное вовлечение в перемешивание масла, имитирующего шлак, видимо, следует объяснять высокой скоростью

движения потоков жидкости в подобласти, расположенной вблизи пятна, то есть при движении потоков жидкости происходит отрыв некоторых объемов масла и вовлечение их в объем воды.

Движущиеся слои жидкостей на границе раздела отрывают захваченную порцию масла, и она увлекается газожидкостным потоком внутрь воды к центру основной восходящей струи, при этом от нее могут отделяться более мелкие порции, а за ней следуют порции масла, чуть позже захваченные потоком. В результате в сосуде образуется зона циркуляции, состоящая из смеси воды, пузырьков воздуха и масла. При продувке через два продувочных узла оголение «металла» в зоне выхода вдвухаемого газа происходило при расходе газа 0,1 л/мин. Объединение зон выхода газа в одно общее пятно наблюдали при продувке с расходом 0,3–0,6 л/мин. В остальных случаях на поверхности масла образовывались две отдельно расположенных зоны выхода газа.

Ширина пятна  $L_n$  (мм) в зависимости от расхода воздуха  $v$  (л/мин) адекватно (коэффициент парной корреляции 0,95) описывается следующим уравнением линейной регрессии:

$$L_n = -5,99 + 230,45 v.$$

На рисунке 5 представлены этапы формирования пятен оголенного «металла» при продувке.

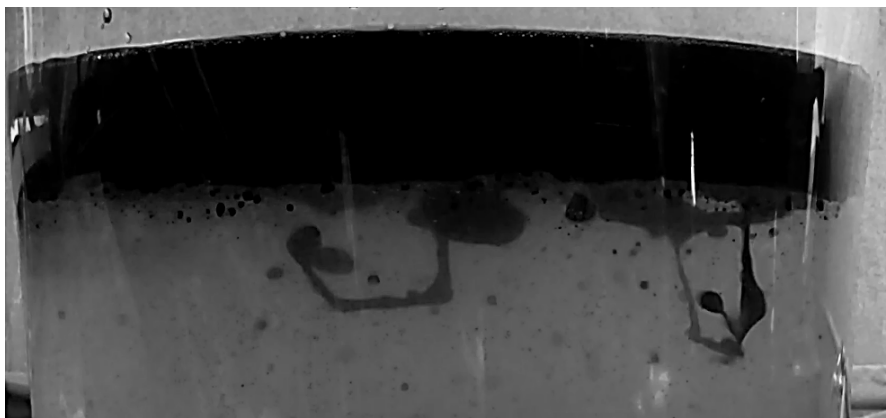


Рисунок 4 Увлечение порции моделирующего шлака в газожидкостный поток

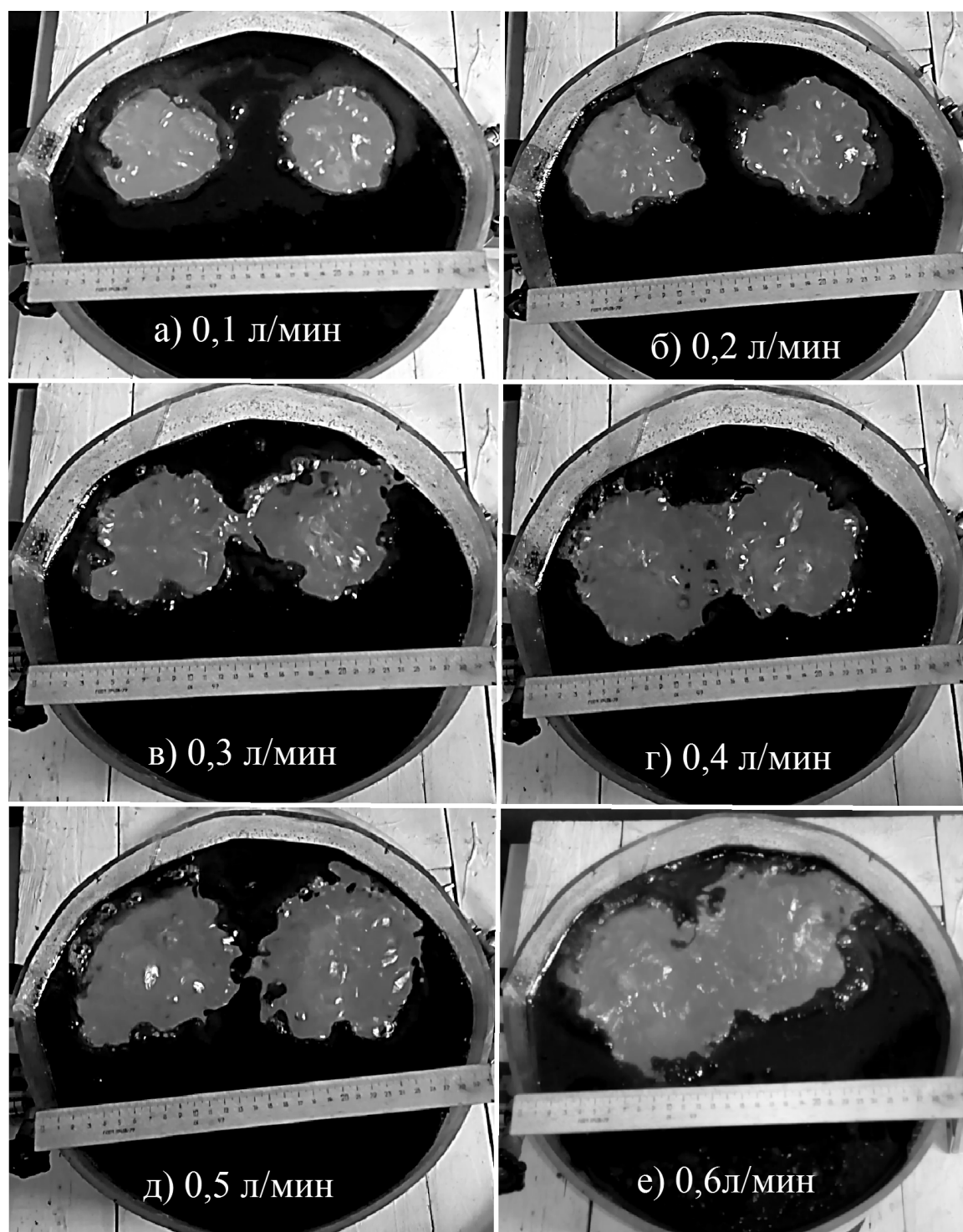


Рисунок 5 Этапы формирования пятен оголенного «металла» при продувке жидкой ванны через два продувочных узла с расходом газа от 0,1 до 0,6 л/мин.

При прохождении циркуляционного потока вдоль зеркала жидкости в ковше большая часть (примерно 92–95%) нахо-

дящихся в нем газовых пузырьков всплывает на поверхность, образуя в этом месте разрыв шлакового покрытия. Так, когда

газожидкостная струя находится на небольшом расстоянии от поверхности «металла», она расширяется, двигаясь преимущественно вверх. Этот динамично изменяющийся поток смещает верхний слой «шлака» к стенкам сосуда, тем самым

формируя зону выхода газа. В случае если восходящая струя имеет достаточно высокий энергетический потенциал, она поднимает струю «металла» выше уровня «шлака».

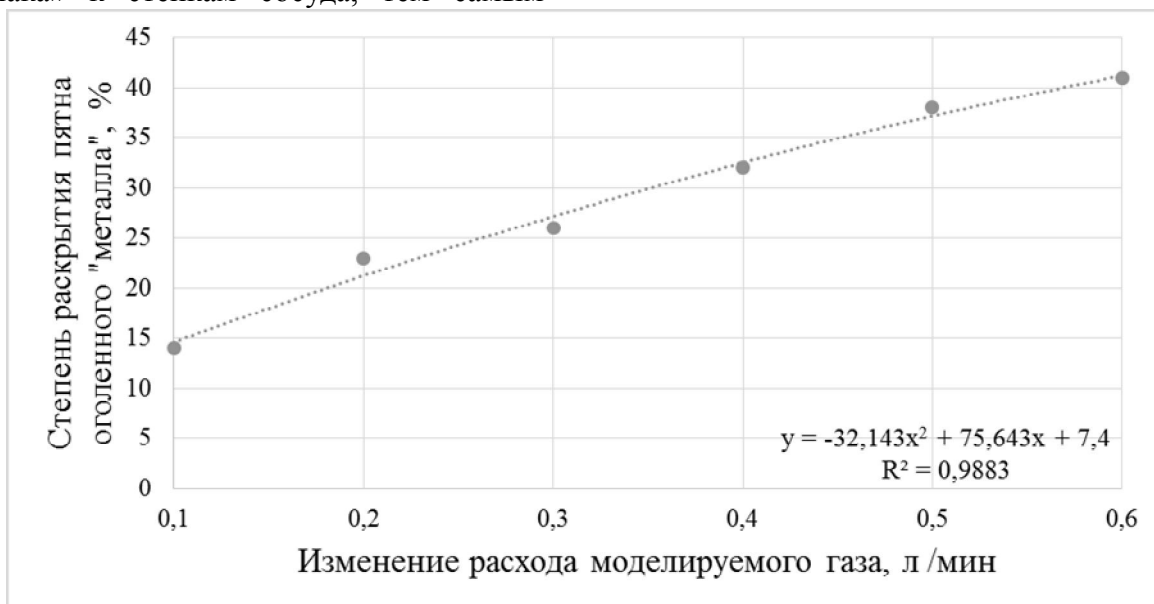


Рисунок 6 Изменение площади оголения зеркала «металла» в зависимости от расхода моделируемого газа

Полученные изображения зоны оголения зеркала металла обрабатывались на компьютере с помощью специализированного графического редактора, позволяющего рассчитать площадь оголенной части «металла». На основании полученных данных строим диаграмму и выводим уравнение изменения площади оголения зеркала «металла» в зависимости от расхода моделируемого газа (рис. 6).

#### Выводы.

В ходе исследований, выполненных на холодной физической модели, установлено, что вдувание инертного газа в металл оказывает существенное влияние на поведение шлакового слоя, что находится в прямой взаимосвязи с динамикой вторичного окисления стали и вовлечения шлаковой фазы в металлическую ванну. Количественная оценка захвата частиц шлака металлом в условиях физического моделирования представляется достаточно про-

блематичной, потому что следует выполнять оценку распределения частиц, имеющих размеры, не превышающие 50–100 мкм, поскольку более крупные частицы достаточно легко удаляются из расплава в ходе моделирования. Использование в ковше двух продувочных устройств, расположенных на определенном удалении друг от друга, приводит в движение части шлака у стенки ковша, что может служить причиной повышенного износа огнеупоров в зоне шлакового пояса. Вместе с тем наличие двух продувочных фурм способствует увеличению вероятности захвата частиц шлака металлом и перемещения их вглубь металла в ковше. Это явление обусловливается интенсивным перемешиванием области жидкости, расположенной между продувочными узлами.

## Библиографический список

1. Федоров, В. В. Теория оптимального эксперимента (планирование регрессионных экспериментов) [Текст] / В. В. Федоров. — М. : Наука, 1971. — 211 с.
2. Гизатулин, Р. А. Внепечные и ковшовые процессы обработки стали: [Текст] : монография / Р. А. Гизатулин. — Новокузнецк : СибГИУ, 2007. — 260 с.
3. Кравченко, В. М. Исследование перемешивания расплава инертным газом в сталеразливочных ковшах большей емкости [Текст] / В. М. Кравченко, Я. А. Романчук // Сборник научных работ студентов ДонГТУ. — 2011. — Вып. 4 (ч.1). — С. 45–51.
4. Еронько, С. П. Физическое моделирование внепечной обработки и разливки стали [Текст] / С. П. Еронько, С. В. Быковский — М. : Техника, 1998. — 136 с.
5. Марков, Б. Л. Физическое моделирование металлургии [Текст] / Б. Л. Марков, А. А. Кирсанов. — М. : Металлургия, 1998. — 117 с.

© Ромачук Я. А.

© Горчаков А. Р.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
нач. техн. бюро ККЦ ПАО «АМК» Бабицем А. С.*

*Статья поступила в редакцию 21.11.16.*

**Романчук Я. О., Горчаков А. Р.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

# **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ МЕТАЛУ ЗІ ШЛАКОМ НА ФІЗИЧНІЙ МОДЕЛІ СТАЛЕРОЗЛИВНОГО КОВША**

*Наведено результати експериментальних досліджень фізичного моделювання процесу перемішування металу зі шлаком в ході продувки металу. Отримано залежність зміни площі розкриття дзеркала металу від витрати модельованого газу.*

**Ключові слова:** шлак, сталь, фізична модель, агрегат «ківш-піч», окислення, інертний газ.

**Romanchuk Ya. A., Gorchakov A. R.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

# **INVESTIGATION OF MIXING PROCESS FOR METAL AND SINTER USING A PHYSICAL MODEL OF CASTING LADLE**

*The results are presented of test investigation of physical modelling the mixing process for metal and sinter at blowing. The dependence for changing the bath level opening area proportions on the rate of modeling gas consumption is obtained.*

**Key words:** sinter, steel, physical model, ladle-furnace aggregate, oxidation, inert gas.

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
И АРХИТЕКТУРА**

---

**БУДІВНИЦТВО  
ТА АРХІТЕКТУРА**

---

**CIVIL ENGINEERING  
AND ARCHITECTURE**



УДК 628.14:699.87

д.т.н. Дрозд Г. Я.  
(ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd.g@mail.ru)

## СТРАТЕГИЯ И АЛГОРИТМ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Приведена идеология модернизации трубопроводных систем, заключающаяся в комплексном использовании современных материалов с их специфическими свойствами в сочетании с соответствующими бестраншейными технологиями. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта санации трубопроводов предложен и охарактеризован алгоритм проведения работ по переоснащению инфраструктуры в коммунальной отрасли.*

**Ключевые слова:** модернизация, санация трубопроводов, полимерные материалы, бестраншейные технологии, надежность, долговечность.

В продолжение темы, поднятой на страницах журнала [1], рассмотрим общие представления о модернизации трубопроводных систем ЖКХ с целью создания их нового поколения.

Модернизация – это обновление объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества.

Объект модернизации – трубопроводные системы. Суть модернизации – замена в этой системе труб из низко надежных

материалов на более современные полимерные путем санации.

Санация – это технологии восстановления, ремонта, замены и очистки трубопроводов.

Сложность решаемой задачи и предстоящие организационно-технические вызовы иллюстрируют следующие рассуждения и цифры. Из более чем 200 тыс. км коммунальных сетей первоочередные работы по замене аварийных участков предстоит осуществить на длине более 60 тыс. км (табл.1[1]).

Таблица 1

Потребность в полимерных трубах диаметром менее 500мм для модернизации трубопроводных систем ЖКХ

Сети	Протяженность, км	Процент труб, мм ≤500 ≤400		Протяженность данного диаметра, км	Износ, %	Протяженность, км
Водоснабжение	113000	-*	73	82400	38	31200
Канализация	46000	60	-	27600	36	9900
Теплоснабжение (двухтрубное исчисление)	33200	-	95	31200	ок. 63	19600
<b>Итого</b>	<b>192200</b>			<b>141200</b>		<b>60700</b>

\*Примечание. Данные отсутствуют

Таблица 2

Масса погонного метра демонтируемых труб в сопоставлении с полимерными трубами [2]

Диаметр, мм	Масса 1 погонного метра, кг				
	Сталь	Керамика	Асбестоцемент	Бетон, ж/б	Полимерные
200	30	43	31	100	2,5
300	59	79	58	150	5,7
400	80	115	98	198	8,7
500	101	155	149	300	13,2

Применение полимерных труб в новом поколении трубопроводов не только благотворно скажется на надежности и долговечности сетей, но и значительно упростит и удешевит процесс их реконструкции за счет свойств полимерных материалов и специальных технологий, основанных на этих свойствах.

Речь идет о возможности использования бестраншейных технологий.

Представим себе ситуацию демонтажа старой трубопроводной системы традиционным открытым способом (с рытьем котлованов) и оценкой объема удаляемых конструкций и их утилизацией (табл. 2).

Усредненное значение одного погонного метра демонтируемых труб составляет 105 кг, одного километра – соответственно 105 т, а масса всей подлежащей замене сети протяженностью около 61 тыс. км превышает 6,3 млн. т. На трубопроводных сетях находится также большое количество всевозможных колодцев, камер и прочих сооружений из кирпича, камня и бетона (для канализации в данном диапазоне диаметров труб расстояние между ними 50-75 м), что в целом составляет не менее миллиона единиц. При гипотетически полном демонтаже восстанавливаемого участка образуются требующие утилизации отходы, количество которых измеряется миллионами тонн. Это создаст проблему их переработки, размещения или захоронения. Применение бестраншейных технологий позволит многократно уменьшить объем отходов и в значительной мере снизить затраты на демонтаж и восстановление.

ружающей среды режиме, осуществить процесс реконструкции трубопроводных систем. На сегодняшний день существуют десятки различных технологий санации (длинный и короткий релайнинг, «метод чулка», метод Flexopen, технология U-Liners и многие другие [3]), которые эффективно использовать для каждого конкретного случая.

Обратная задача: монтаж трубопроводов из полимерных труб связан с наличием и качеством этих труб. Приблизительная потребность в полимерных трубах диаметром до 500 мм для восстанавливаемого участка, исходя из среднего значения массы 1 погонного метра трубы в 10 кг (табл. 2), составляет 610 тыс. т. В настоящее время наиболее востребованными являются полимерные трубы: полиэтиленовые, поливинилхлоридные, полипропиленовые.

**Полиэтиленовые трубы.** Производство полиэтиленовых труб – наиболее крупный сегмент украинского рынка полимерных труб. Большинство отечественных производителей ориентируют свои предприятия на выпуск этой трубной продукции как наиболее востребованной во всех отраслях коммунальной сферы и промышленности. При существующих объемах отечественного производства полимерных труб 20-25 тыс. т/год (табл. 3) станет возможным ежегодно обновлять 2-3 тыс. км трубопроводов (из расчета 10 т труб на 1 км). В итоге весь процесс обновления аварийных трубопроводов займет 20-30 лет.

Таблица 3

Соотношение производства полиэтиленовых труб по назначению в Украине  
[по «Полимерные трубы – аналитика рынка 2013»]

Год	Производство полиэтиленовых труб			
	Для водоснабжения и канализации		Для газоснабжения	
	т	%	т	%
2006	11200	32	23800	68
2007	19930	47	22470	53
2008	25310	59	17590	41
2009	18417	72	7180	28
2010	17090	67	8420	33
2011	24380	70	10600	30
2012	18680	68	8810	32
2013	21130	82	4600	18

Параллельно будет происходить износ оставшейся части эксплуатирующихся трубопроводов, и процесс их обновления продолжится, для чего опять будут необходимы полимерные трубы.

Касательно полимерной трубной продукции. Для повышения статуса модернизации трубопроводных систем, которые в данной ситуации являются знаковым объектом для производителей – конкурентов за сбыт своей продукции, необходимо повысить требования к качеству труб. Основные характеристики труб: долговечность, надежность, химическая стойкость, износостойкость должны гарантироваться заводом-изготовителем. При этом гарантии должны быть не декларативно рекламными, а юридически оформленными обязательствами по возмещению убытков [4].

На сегодняшний день на предприятиях ЖКХ действует «пожарная стратегия» – действовать лишь тогда, когда «горит» в условиях нехватки времени. Поэтому ликвидация аварий осуществляется материалами и способами, которые есть под рукой. В итоге затраты на такие мероприятия

неэффективны и уходят буквально в «черную дыру».

Процент санирования трубопроводов в стране минимальный в сравнении с зарубежными странами. Использование современных методов санации отечественными предприятиями носит пока несистемный и, по сути, локальный характер и скорее является исключением из необходимого правила. Обобщение опыта таких предприятий по ликвидации аварий и санации трубопроводов явилось основой для создания своеобразной пошаговой инструкции модернизации трубопроводных систем и последующего их обслуживания. Приведенные ниже соображения, возможно, станут основой для разработки необходимых Правил, целевой программы для осуществления модернизации трубопроводных систем, а также соответствующих нормативных и законодательных актов.

Исходя из приведенных выше рассуждений об объеме предстоящих работ, необходимых материальных ресурсах и сроках реализации проекта в условиях ограниченности времени, рассмотрим план действий и основные его этапы на основе схемы (рис. 1).

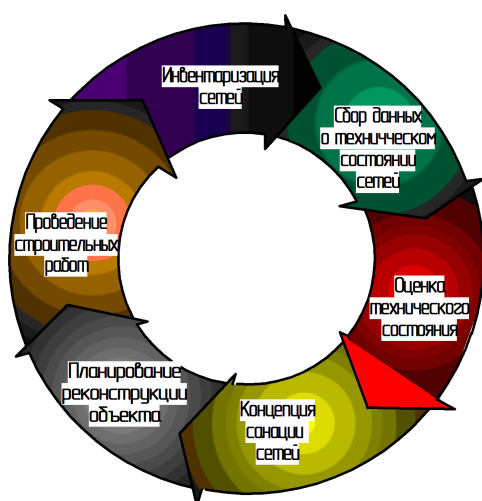


Рисунок 1 Основные этапы модернизации трубопроводных сетей

Эти сведения являются важными для принятия решений при планировании мероприятий по восстановлению и ремонту трубопроводных систем и последующей их эксплуатации.

#### **Сбор данных о техническом состоянии сетей**

Качеству сбора данных следует отводить центральное место. Инспекция должна осуществляться как проходом по трассе сети специалистами (простой осмотр), так и путем диагностики внутреннего состояния трубопровода с помощью технических средств – дистанционно управляемых видео камер, предназначенных для осмотра труб (рис. 2).

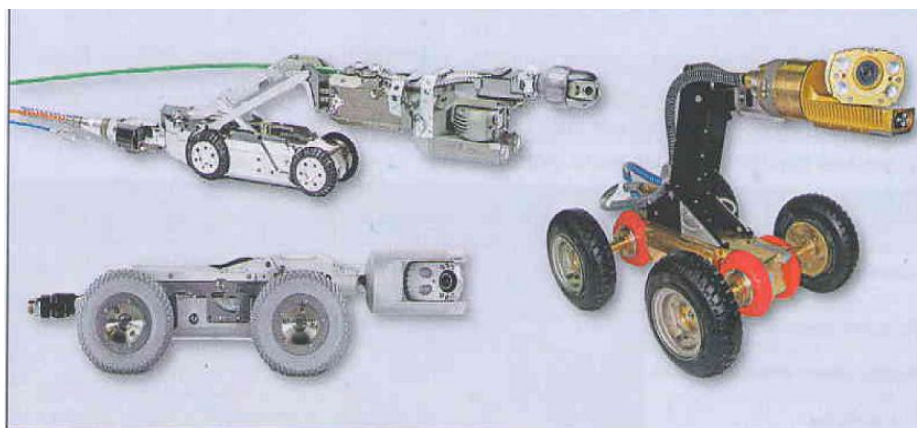


Рисунок 2 Передвижные видеокамеры для телеинспекции трубопроводов различных диаметров

Результаты инспекции трубопроводов должны документироваться в соответствующем кадастре. С помощью инвентарных данных сетей необходимо составить планы инспекции и снабдить их номерами колодцев, сооружений и направлений для однозначной идентификации результатов инспекции.

#### **Оценка технического состояния**

Основой для оценки технического состояния трубопроводных сетей является их тщательный осмотр, дополненный при необходимости проверкой герметичности (рис. 3).

Использование ТВ-роботов для инструментального обследования трубопроводов

дает возможность от фотографий и видеозаписей перейти к количественной оценке технического состояния канализационных сетей. Для этого в мировой практике используется система индексации всех дефектов по их эксплуатационной значимости. Примером такой системы может служить приведенная в таблице 4 эксплуатационная значимость повреждений железобетонных труб, выраженная в баллах. Баллы от 0 до 10 определены на основе видеозаписей. Они отражают фактическое физическое состояние трубопровода (рис. 4): 0 – труба в идеальном состоянии, в то время как 10 – труба непригодна к использованию (аварийное состояние) [3].

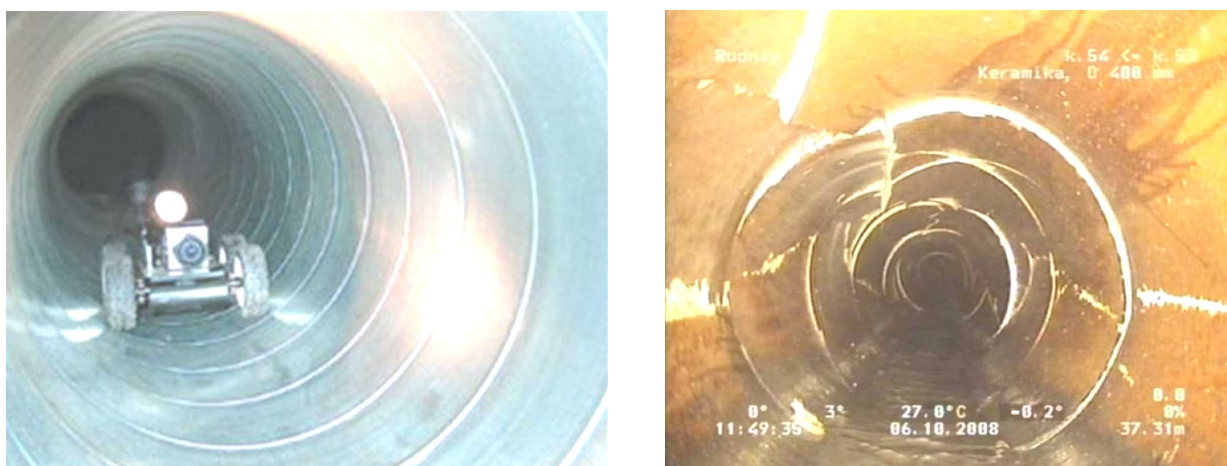


Рисунок 3 Телеинспекция трубопровода и фиксируемый дефект керамической трубы

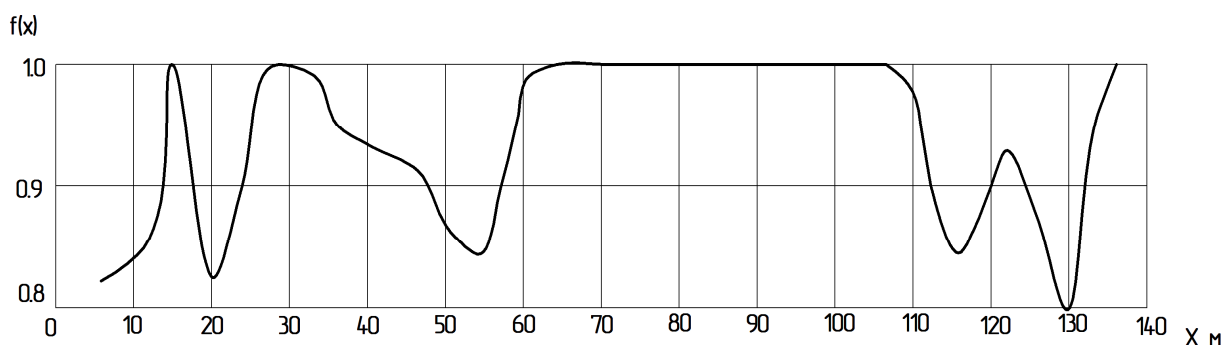


Рисунок 4 Пример графика функции ослабления для участка трубопровода, обследованного телевизионной установкой

В рассматриваемой таблице приведены баллы для железобетонных труб. Аналогичную таблицу можно разработать и для труб из другого материала.

Десятибалльная система позволяет количественно оценить степень нарушения целостности и значимость каждого из этих нарушений для эксплуатации коллектора. Функция ослабления позволяет в виде графика визуально оценивать состояние обследованного участка трубопровода [3, 5]. После полного анализа видеозаписей и отчетов в зависимости от состояния трубопроводов определяется очередность реконструкции и производится выбор метода ремонтных работ, чтобы сконцентрировать усилия на ремонте тех труб, которые повреждены в большей степени и

требуют скорейшего восстановления. Это означает, что ремонт необходимо начинать с участка с индексом 10 – полностью непригодного к использованию трубопровода – и затем постепенно снижаться до индекса 0 – идеального по качеству трубопровода, не требующего ремонта. Однако первоочередность работ оценивается и по другим факторам. Например, трубопроводы, проложенные вблизи водозаборов, рек и озер, следует ремонтировать в первую очередь. Особого внимания требуют и те участки городских улиц, где трубопроводы располагаются глубоко под землей и интенсивность движения городского транспорта очень высокая.

Из соответствующего класса состояния следует необходимость действий (табл. 5).

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 4

Пример оценки повреждений в баллах по их эксплуатационной значимости

Состояние коллектора	Удовлетворительное	Предаварийное	Аварийное
Обозначение	У	ПА	А
Вид дефекта или повреждения и его эксплуатационная значимость в баллах	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Разгерметизация стыков – 1 балл</li> <li>•Одинокная продольная трещина трубы с раскрытием на 1-5 мм и протяженностью до 0,5 l трубы – 1 балл</li> <li>•Одинокная поперечная трещина в лотке – 1 балл</li> <li>•Осевое расхождение стыков до 4 см – 2 балла</li> <li>•Одинокная поперечная трещина в своде – 2 балла</li> <li>•Трещиноватость с раскрытием трещин 1-5 мм на площади до 0,5 м<sup>2</sup> – 2 балла</li> <li>•Одинокный вывал бетона в лотке с обнажением арматуры – 2 балла</li> <li>•Слой коррозии бетона до 5 мм – 3 балла</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Осевое расхождение стыков более чем на 4 см – 3 балла</li> <li>•Поперечное смещение торцов труб относительно оси коллектора в стыках до 0,2 d трубы – 3 балла</li> <li>•Одинокная продольная трещина с раскрытием 1-5 мм и протяженностью более 0,5 l трубы – 3 балла</li> <li>•Трещиноватость с раскрытием трещин до 5 мм площадью от 0,5 м до 1 м – 3 балла</li> <li>•Одинокная кольцевая трещина с раскрытием 1-5 мм – 4 балла</li> <li>•Выкрошивание бетона с внутренней поверхности с обнажением арматуры на площади до 0,5 м<sup>2</sup> – 4 балла</li> <li>•Продольный разлом трубы протяженностью до 0,25 l – 4 балла</li> <li>•Слой коррозии бетона свода до арматуры (отсутствие защитного слоя) – 5 баллов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Поперечное смещение торцов труб относительно оси коллектора в местах стыков на величину более 0,2 d – 5 баллов</li> <li>•Трещиноватость с раскрытием трещин до 5 мм площадью более 1 м<sup>2</sup> – 6 баллов</li> <li>•Продольный разлом трубы, протяженностью от 0,25 l до 0,5 l – 6 баллов</li> <li>•Выкрошивание бетона с внутренней поверхности трубы до обнажения арматуры на площади более 0,5 м<sup>2</sup> – 7 баллов</li> <li>•Одинокный вывал бетона в своде с обнажением</li> <li>•арматуры – 7 баллов</li> <li>•Продольный разлом трубы, протяженностью более 0,5 l – 8 баллов</li> <li>•Кольцевой перелом трубы – 9 баллов</li> <li>•Сквозной пролом трубы – 10 баллов</li> <li>•Сплошное разрушение свода – 10 баллов</li> </ul>

Таблица 5

Влияние состояния объекта на срочность принятия решений

Оценка состояния	Необходимость действий
Очень существенный дефект (промедление опасно)	Немедленно
Существенный дефект	В краткосрочной перспективе
Средний дефект	В среднесрочной перспективе
Легкий дефект	В долгосрочной перспективе
Незначительный дефект	Нет необходимости действий
Дефектов нет	Безаварийное состояние

### Концепция санации

Этап выработки концепции позволяет получить общие представления о предстоящих мероприятиях: определить наиболее эффективные действия по санации и их очередность, обосновать необходимые бюджетные средства, подготовить соответствующие решения, согласовать запланированные мероприятия с ведомствами водного хозяйства, привлечь других участников (например, из дорожного строительства).

На этом этапе согласовываются между собой надежность эксплуатации, стоимость трубопроводной сети и затраты. Наибольший потенциал экономии затрат заложен в хорошо продуманной концепции, основанной на сравнении различных вариантов: к примеру, существенные дефекты нужно устранять срочно, а легкие повреждения – позже. Однако в долгосрочной перспективе, с экономической точки зрения, может оказаться более целесообразным расширить объемы восстановительных работ и вместе с существенными дефектами провести реконструкцию участков сетей со средними и легкими повреждениями. В этом случае не понадобится проводить дополнительные действия по реконструкции. Необходимо также учесть, что дефекты увеличиваются с течением времени. Поэтому мероприятия, предусмотренные в концепции, влияют на безопасность эксплуатации, стоимости сети и затраты на ремонт в будущем.

Это же касается выбора метода и вида санации. Например, в зависимости от видов дефектов санацию можно провести путем:

а) локальных ремонтов: эффект – сравнительно низкие затраты, но и малая продолжительность эксплуатации 2-10 лет;

б) путем восстановления протяженных дефектов закрытым способом: эффект – средние затраты и средние сроки эксплуатации 20-50 лет;

в) путем полной замены открытым способом: эффект – высокие затраты, но и высокая продолжительность эксплуатации, более 50 лет.

Финансовые возможности определяют и виды санации. Исходя из зарубежного опыта, рекомендуется выбирать виды санации с длительным сроком эксплуатации. Однако в краткосрочной перспективе этот выбор повлечет за собой более высокие затраты.

### Планирование реконструкции объекта

Определенные в концепции очереди строительства необходимо тщательно спланировать. Возможно, необходимо собрать дополнительные данные (состояние грунта, уровень грунтовых вод, расположение газопроводов, водопроводов, кабельных линий и проч.).

Из существующих многочисленных методов санации сетей и колодцев необходимо выбрать наиболее подходящий для конкретного случая метод (табл. 6).

Таблица 6

Способы реконструкции трубопроводов

Ремонт	Ремонт местных участков	Внешний, внутренний
	Инъекционные методы	Внешние, внутренние
	Способы гидроизоляции	Внешние, внутренние
Восстановление	Способы облицовки	Вытеснение, напыление, центрифугирование, выпрессование (нагнетание)
	Методы выравнивания	Отдельные трубы, обмотка труб, шланги, волоконные трассы
	Монтажные способы	Частичная облицовка, полная облицовка без внешнего давления, полная облицовка с внешним давлением
Реконструкция	Открытым способом	Без демонтажа старого трубопровода, с демонтажем старого трубопровода
	Закрытым способом	Без демонтажа старого трубопровода, с демонтажем старого трубопровода

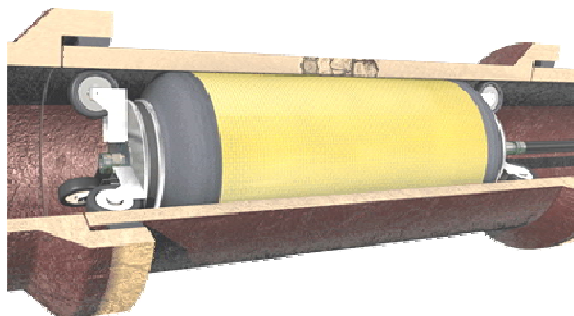


Рисунок 5 Ремонт трубы снаружи и изнутри

*Ремонт.* Методы ремонта применяют для устранения локальных повреждений (уплотнение стыков, устранение свищей и проч.) либо традиционным способом с разрытием котлована, либо изнутри трубопровода с использованием специальной робототехники (рис. 5).

*Восстановление.* При ремонте и восстановлении трубопроводов используют открытый и закрытый способы производства работ. Одним из наиболее часто применяемых является способ ремонта сети, основывающийся на принципе «вскры-замены». Это вскрытие траншеи, удаление старой трубы и установка новой. Такой способ может быть либо очень дорогостоящим (при большой глубине заложения трубопровода), либо очень дешевым – ес-

ли трубопровод расположен близко к поверхности. Вместе с тем открытый способ имеет ряд недостатков: пространство для транспорта, особенно в густонаселенных пунктах, довольно ограниченное, создаются неудобства для жителей данного района и в первую очередь для пешеходов.

Часто возникает необходимость принимать меры к понижению уровня грунтовых или дождевых вод; при ведении работ приходится учитывать наличие параллельных и пересекающихся городских коммуникаций; существует необходимость решать проблемы, связанные с водоотливом и укреплением стенок разрабатываемых траншей. Альтернативой является закрытый способ – применение бестраншейных технологий (рис. 6).



Рисунок 6 Открытый и закрытый способы восстановления трубопровода

В передовой зарубежной практике 95% всех работ, связанных с прокладкой под-

земных коммуникаций, производится бестраншейными способами. Во многих

крупных зарубежных городах прокладка инженерных коммуникаций открытым способом запрещена. Необходимо отметить, что в Европе постоянно растет число объектов, где находят применение различные методы бестраншейной технологии (рис. 7, 8, 9) ремонта и прокладки коммуникаций, причем этот рост более стремительный, чем в США, так как большинство крупнейших городов с подземной инфраструктурой было построено несколько столетий назад [6,7].

*Реконструкция (замена).* В случае замены старый трубопровод меняют на новый.

Замена – самый гибкий вид санации, особенно для трубопроводов, выполненных из хрупких материалов. При этом трассу трубопровода, его диаметр и материал, а также конструктивное исполнение можно выбирать из текущих требований. Если в перспективе предстоит пропускать большие объемы жидкости, то замена трубопровода – это безальтернативное решение. Замену трубопроводов, если имеются возможности, можно осуществить открытым способом строительства (рис. 10).

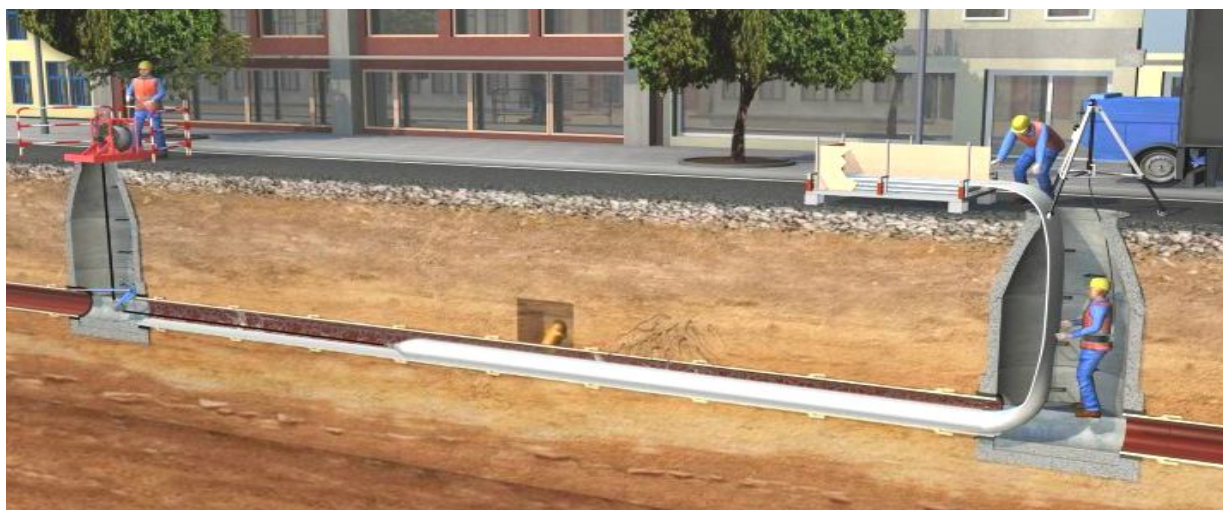


Рисунок 7 Бестраншейная технология восстановления трубопроводов по изношенному каналу: метод «чулка» [3, 8]



Рисунок 8 Бестраншейная технологии восстановления трубопроводов по изношенному каналу: метод протяжки плети полиэтиленовых труб [3, 8]



Рисунок 9 Бестраншейные технологии восстановления трубопроводов по изношенному каналу: метод монтажа из коротких труб [3, 8]



Рисунок 10 Замена трубопровода открытым способом строительства

Однако более современными и экологически безопасными являются бестраншейные способы замены. Они имеют ряд преимуществ, прежде всего в районах главных автомагистралей и центральной части городов, так как лишь незначительно влияют на надземную инфраструктуру. Кроме того, они позволяют заменять трубопроводы с увеличением их диаметра путем механического разрушения старой конструкции с последующей протяжкой нового трубопровода (рис. 11). Технология берстлинг особенно эффективна для трубопроводов, выполненных из хрупких материалов [3, 9]. При использовании этого метода вслед за головкой, разрушающей старую трубу и вытесняющей окружающий грунт, втягивается новая труба. При этом не возникает про-

блем с утилизацией старых конструкций (рис. 11).

#### Проведение строительных работ

Работы по санации трубопроводов должны проводить специализированные организации, оснащенные всем необходимым оборудованием и имеющие профессиональный опыт. Ремонт и восстановление сетей необходимо сопровождать надзором и контролем. Сторонний контроль должны осуществлять независимые специалисты и сертифицированные лаборатории, контролирующие, кроме всего прочего, используемые материалы и их свойства.

Приемку работ следует осуществлять путем проверки герметичности системы и обследования передвижной видео камерой. Все проведенные мероприятия должны быть внесены в соответствующий кадастр.

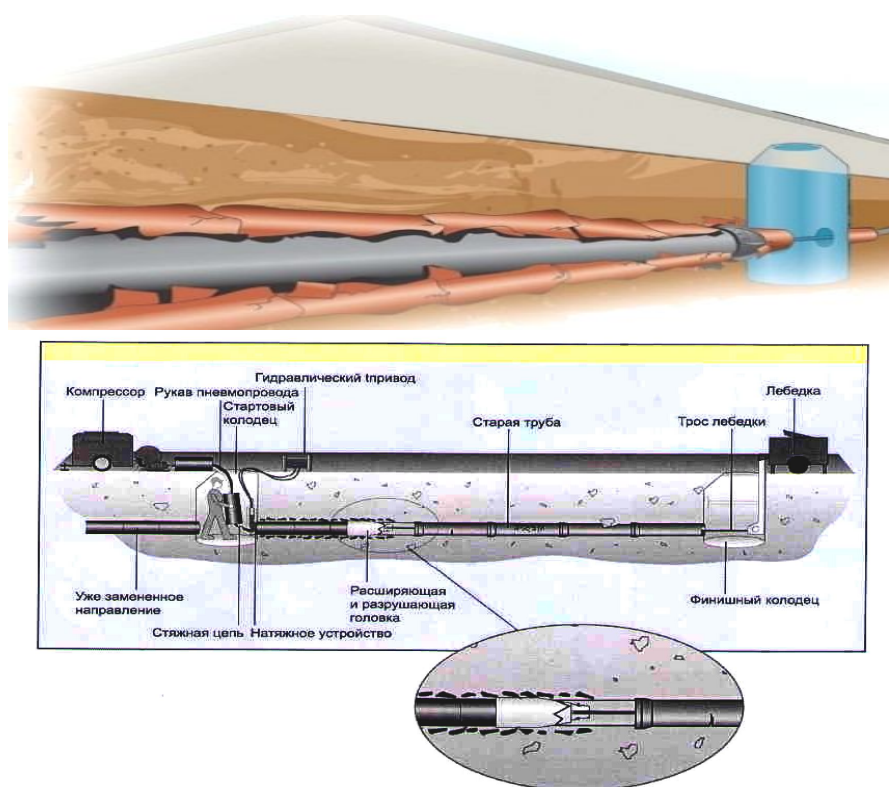


Рисунок 11 Бестраншейная замена труб (технология берстлинга)

### Заключение

Для успешной модернизации трубопроводных систем необходимо выполнить ряд организационных мероприятий:

- внести изменения в нормативно-техническую базу, обязывающие применять только гарантированно надежные и долговечные материалы для трубопроводных систем ЖКХ;
- обязать все эксплуатирующие сети предприятия провести их инвентаризацию и создать соответствующий кадастр;

– согласовать с производителями полимерных труб их номенклатуру и требуемые объемы производства в соответствии с планируемыми работами;

- определить предприятия-участники для производства работ по санации трубопроводов с соответствующим лицензированием и сертификацией;
- подготовить профессиональные кадры;
- разработать специальную Программу и изыскать финансирование.

### Библиографический список

1. Дрозд, Г. Я. Труба дело или дело в трубе [Текст] / Г. Я. Дрозд // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. — 2016. — № 7. — С. 34–47.
2. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации / под ред. А. К. Перешивкина. — М. : Стройиздат, 1988. — 653 с.
3. Дрозд, Г. Я. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация [Текст] / Г. Я. Дрозд, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак. — Донецк : ИЭП НАН Украины, 2000. — 260 с.
4. Исаев, В. Н. Трубопроводные коммунальные системы [Текст] / В. Н. Исаев, Р. Ю. Хургин // *Композиты 21 век*. — 2011.

5. Количественная оценка технического состояния канализационных коллекторов // Водоснабжение и санитарная техника [Текст] / В. Шаповалов, Е. Тархов, А. Богданов и др. — 1985. — № 3. — С. 6–8.
6. Гончаренко, Д. Ф. Эксплуатация и восстановление сетей водоотведения [Текст] / Д. Ф. Гончаренко. — Харьков : Консум, 2007. — 400 с.
7. Орлов, В. А. Разработка стратегии восстановления городских водоотводящих сетей [Текст] / В. А. Орлов, В. А. Харьков // РОСТ. — 2001. — № 3. — С. 20–27.
8. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://truba.prom.ua> > g277186-sanatciya-remont.
9. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.lfu.bauem.de>.

© Дрозд Г. Я.

*Рекомендована к печати и.о. заведующего каф. СК, к.т.н., доц. ДонГТУ Псюком В. В., директором ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. Андрийчуком Н. Д.*

Статья поступила в редакцию 03.10.16.

д.т.н., проф. Дрозд Г. Я. (ІБАіЖКГ ЛГУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, drozd. g@mail.ru)

#### СТРАТЕГІЯ І АЛГОРИТМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Приведена ідеологія модернізації трубопроводних систем, що полягає в комплексному використанні сучасних матеріалів з їх специфічними властивостями у поєднанні з відповідними безтраншейними технологіями. На основі аналізу зарубіжного і вітчизняного досвіду санації трубопроводів запропоновано і охарактеризовано алгоритм проведення робіт з переоснащення інфраструктури в комунальній галузі.

**Ключові слова:** модернізація, санація трубопроводів, полімерні матеріали, безтраншейні технології, надійність, довговічність.

Dr. Tech. Sci. Drozd G. Ya (V.Dahl ISAandZhKKh LGU, Lugansk, LPR, drozd. g@mail.ru)

#### STRATEGY AND ALGORITHM FOR MODERNIZATION OF LIFE-SUPPORT PIPELINES

An idea for modernization of the pipelines is presented in the paper and consists in using the up-to-date specific materials coupled with appropriate ditchless technology. On the basis of analyzing a number of foreign and native practices in pipeline repairing the algorithm for work execution has been proposed and described for re-equipment the utility infrastructure.

**Key words:** modernization, pipeline repairing, polymeric materials, ditchless technology, reliability, durability.

УДК 628.47+625.855.1

*д.т.н., проф. Братчун В. И.**(ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР, bratv09@yandex.ua),**д.т.н., проф. Дрозд Г. Я.**(ИСАиЖКХ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd. g@mail.ru),**Бизирка И. И.**(ИСАиЖКХ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, bizirkaira@mail.ru)*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОМ И ИЗВЕСТНЯКОВОМ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКАХ

*Проведено сравнение основных физико-механических характеристик асфальтобетонных дорожных покрытий на основе органо-минерального порошка из осадков сточных вод и известнякового минерального порошка. Показано, что органо-минеральный порошок существенно улучшает основные механические характеристики асфальтобетона.*

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, органо-минеральный порошок, утилизация, асфальтобетон

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Для кардинального решения проблем экологии и снижения ресурсоемкости производства необходимо обеспечить кругооборот сырья, утилизировать вторичные ресурсы. Это обусловлено, прежде всего, огромными объемами накопленных (депонированных) отходов осадков сточных вод (ОСВ) (в Луганской области свыше 200 тыс. т, в Украине около 500 млн. т) и потребностью в дорожных строительных материалах [2, 3, 5].

Основные структурообразующие компоненты асфальтобетона – битум и минеральный порошок – определяют его свойства и являются достаточно дефицитными материалами. Все дорожные покрытия подвергаются воздействию климатических и эксплуатационных факторов. В результате износа покрытий появляются выбоины, трещины, выкрашивания, колеи и т. п. На ремонт и содержание дорог в стране расходуется более 60% всех потребляемых органических вяжущих и минеральных материалов. Поэтому задачей материаловедения является ресурсосбережение как основной источник материального обеспечения дорожного строительства.

Такие органо-минеральные смеси, достаточно сложные по составу, с успехом

могут применяться в составах экологически чистых дорожных покрытий, характеризующихся повышенной стойкостью и долговечностью [3, 4].

**Анализ последних достижений и публикаций.** Наиболее полно вопрос утилизации ОСВ в асфальтобетон освещен в работе [1]. В ней показана возможность использования этого органо-минерального отхода в качестве компонента асфальтобетона. При замене минерального порошка на органо-минеральный порошок получается асфальтобетон с высокими физико-механическими свойствами.

**Цель работы.** Изучить физико-механические свойства асфальтобетона на органо-минеральном порошке (ОМП) и известняковом минеральном порошке (ИМП) в зависимости от реальных сроков эксплуатации дорожного покрытия.

**Материалы и методики исследований.** При устройстве верхнего слоя экспериментального покрытия автомобильной дороги по ул. Малютин в г. Антраците использовали горячие мелкозернистые асфальтобетоны типа Б, I марки следующих составов: левая полоса – гранитный щебень Караньского карьера (25%), отсев дробления гранита (70%), известняковый минеральный порошок (5%), битум

БНД 60/90 Лисичанского НПЗ (6,5%); правая полоса - гранитный щебень Караньского карьера (25%), отсев дробления гранита (70%), ОМП (5%), битум БНД 60/90 Лисичанского НПЗ (6,5%).

Исследовали свойства асфальтобетона на основе битума с добавками: минерального порошка, органо-минерального порошка (ОСВ).

### Результаты и их обсуждение.

В период с сентября по октябрь 2010 г. с использованием осадка сточных вод г. Луганска в качестве органо-минерального порошка, гранитного щебня и отсева его дробления (Караньский карьер) была выполнена реконструкция городской улицы им. Малютина в г. Антраците Луганской области (рис. 1).



Рисунок 1 Экспериментальная городская улица г. Антрацит (общий вид и фрагмент покрытия)

При этом на участке автомобильной дороги по улице Малютина длиной 250 м и шириной 6 м были выделены два опытных участка 250×3 м – левая полоса дороги была выполнена из смеси асфальтобетона с традиционным известняковым минеральным порошком, а правая – из асфальтобетона с ОМП – за которыми проводились систематические наблюдения. Толщина покрытия составила 6 см.

Подбор составов асфальтобетонных смесей производился в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-119-2011.

Исследованиями определялись: из вырубок – средняя плотность, кг/м<sup>3</sup>; водонасыщение, % по объему; набухание, % по объему; коэффициент уплотнения; из перерформованных образцов – средняя плотность, кг/м<sup>3</sup>; водонасыщение, % по объему; набухание, % по объему; предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 20 °С, 50 °С, 20 °С; коэффициент уплотнения.

Таблица 1

Зависимость свойств асфальтобетона на ОМП из верхнего слоя покрытия от сроков его эксплуатации (взяты из вырубок)

Сроки взятия пробы	Вырубки			
	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Коэффициент уплотнения
10 дней	2360	3,2	0,30	0,99
1 год	2370	2,4	0,28	0,99
2 год	2375	2,2	0,25	0,99

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 2

Зависимость свойств асфальтобетона на ОМП из верхнего слоя покрытия от сроков его эксплуатации (взяты из переформованных образцов)

Переформованные образцы							
Сроки взятия пробы	Средняя плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Водона- сыщение, % по объему	Набуха- ние, % по объему	Предел прочности при сжатии, МПа, при темпе- ратуре			Кoeffи- циент водо- стойкости
				20 <sup>0</sup> С	50 <sup>0</sup> С	20 <sup>0</sup> С водо- насыщен.	
из сме- сителя	2350	2,4	0,18	3,5	2,3	3,3	0,93
10 дней	2380	2,5	0,18	3,7	2,3	3,4	0,93
1 год	2390	2,6	0,21	3,8	2,4	3,4	0,90
2 год	2400	2,8	0,21	4,1	2,6	3,6	0,87

Таблица 3

Зависимость свойств асфальтобетона на ИМП из верхнего слоя покрытия от сроков его эксплуатации (взяты из вырубок)

Сроки взятия пробы	Вырубки			
	Средняя плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Кoeffициент уплотнения
10 дней	2335	3,4	0,60	0,99
1 год	2350	3,0	0,50	0,99
2 год	2370	2,8	0,47	0,99

Таблица 4

Зависимость свойств асфальтобетона на ИМП из верхнего слоя покрытия от сроков его эксплуатации (взяты из переформованных образцов)

Переформованные образцы							
Сроки взятия пробы	Средняя плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Водона- сыще- ние, % по объем	Набуха- ние, % по объему	Предел прочности при сжа- тии, МПа, при температуре			Кoeffициент водостойко- сти
				20 <sup>0</sup> С	50 <sup>0</sup> С	20 <sup>0</sup> С водона- сыщен.	
из сме- сителя	2340	6,5	0,38	3,3	1,2	2,8	0,9
10 дней	2350	2,6	0,42	3,5	1,1	3,0	0,96
1 год	2375	2,8	0,53	3,6	1,2	3,0	0,88
2 год	2400	3,1	0,55	3,8	1,3	3,1	0,85

**Выводы**

1. Двухлетние наблюдения за дорожным полотном экспериментальной дороги в г. Антраците показали, что асфальтобетон на основе органо-минерального порошка из отходов (осадка сточных вод) имеет технические характеристики, конкурентные асфальтобетону на традиционном известняковом минеральном порошке, а именно:

– водонасыщение образцов примерно на 20% меньше;

– набухание образцов асфальтобетона примерно на 50% меньше;

– предел прочности на сжатие при повышенных температурах как минимум вдвое выше, чем у аналогов.

2. Полученные данные свидетельствуют о перспективах широкого использования органо-минерального порошка в дорожном строительстве.

**Библиографический список**

1. Бреус, Р. В. Зниження об'ємів накопичених відходів водоочищення – осадів стічних вод, шляхом їх утилізації в асфальтобетон [Текст] : автореф. дис. ... к.т.н. / Р. В. Бреус. — Харків : УНДІЕП, 2007. — 21 с.

2. Дрозд, Г. Я. Предложения по вовлечению депонированных осадков сточных вод в хозяйственный оборот [Текст] / Г. Я. Дрозд // Материалы Международного конгресса «ЭТЭВК-2009». — Ялта, 2009. — С. 230–242.

3. Дрозд, Г. Я. Утилизация осадков сточных вод в дорожном строительстве [Текст] / Г. Я. Дрозд, Р. В. Бреус // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. — Горлівка : ДНТУ. — 2009. — № 1 (8). — С. 186–193.

4. Симонов, А. Д. Сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства в псевдооживленном слое катализатора [Текст] / А. Д. Симонов, Н. А. Языков, А. В. Трачук, В. А. Яковлев // Альтернативная энергетика и экология. — № 6 (86). — 2010. — С. 61–66.

5. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод [Текст] / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. — Москва : АСВ, 2004. — 704 с.

© Братчун В. И.

© Дрозд Г. Я.

© Бизирка И. И.

**Рекомендована к печати и.о. заведующего каф. СК, к.т.н., доц. ДонГТУ Псюком В. В., директором ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. Андрийчуком Н. Д.**

Статья поступила в редакцию 03.10.16.

д.т.н., проф. Братчун В. И. (ДонНАСА, м. Макіївка, ДНР, bratv09@yandex.ua), д.т.н., проф. Дрозд Г. Я. (ІБАіЖКГ ЛГУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, drozd. g@mail.ru), Бізірка І. І. (ІБАіЖКГ ЛГУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, bizirkaira@mail.ru)

# **ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСФАЛЬТОБЕТОНУ НА ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОМУ І ВАПНЯКОВОМУ МІНЕРАЛЬНИХ ПОРОШКАХ**

Проведено порівняння основних фізико-механічних характеристик асфальтобетону на основі органо-мінерального порошку з осадів стічних вод і вапнякового мінерального порошку з експериментального дорожнього покриття. Показано, що органо-мінеральний порошок істотно покращує основні механічні характеристики асфальтобетону.

**Ключові слова:** осад стічних вод, органо-мінеральний порошок, утилізація, асфальтобетон.

**Dr.Tech.Sci. Bratchun V. I.** (DonNABA, Makeievka, DNR, bratv09@yandex.ua), **Dr. Tech. Sci., prof. Drozd G. Ya.** (V Dahl ISAandZhKKh LGU, Lugansk, LPR, drozd. g@mail.ru), **Bizirka I. I.** (V. Dahl ISAandZhKKh LGU, Lugansk, LPR, bizirkaira@mail.ru)

**COMPARATIVE ANALYSIS OF ASPHALT CONCRETE CONTAINING ORGANIC-AND-MINERAL POWDER AND LIMESTONE MINERAL POWDER**

*A comparison was made of the main physical and mechanical properties of asphalt concrete from the test road pavement containing organic and mineral powder produced from wastewater sludges and limestone mineral powder. It is proved that organic and mineral powder significantly improves the main mechanical properties of asphalt concrete.*

**Key words:** wastewater sludges, organic and mineral powder, waste recovery, asphalt concrete.

УДК 628.14:699.87

**д.т.н. Дрозд Г. Я.,**  
**к.т.н. Хвортова М. Ю.,**  
 (ИСАиЖКХ ЛГУим. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, drozd. g@mail.ru)

## ТРУБОПРОВОДЫ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖКХ КАК ОБЪЕКТЫ ПРИСТАЛЬНОГО ВНИМАНИЯ

*В статье показано кризисное техническое состояние трубопроводных систем ЖКХ, при эксплуатации которых планово-предупредительные ремонты уступили место аварийно-восстановительным работам, затраты на которые втрое превышают стоимость строительства новых трубопроводов. Вскрыты основные причины сложившейся ситуации и предложены подходы к созданию трубопроводных систем нового поколения.*

**Ключевые слова:** труба, материал, износ, отказ, авария, долговечность, надежность.

Современное техническое состояние трубопроводных систем ЖКХ достигло критической отметки. Физический и моральный износ существующих трубопроводов выдвигает настоятельную необходимость на основе учета отечественного и зарубежного опытов разработать стратегию создания нового поколения трубопроводов для их надежной эксплуатации в третьем тысячелетии.

В жилищно-коммунальном хозяйстве трубопроводные системы являются основой обеспечения населения водой, теплом, и они же отводят многочисленные стоки. Их стоимость в коммунальных системах составляет 60-70 % от стоимости систем водо- и теплоснабжения и водоотведения. Физический износ трубопроводов, сопровождающийся постоянными потерями воды и тепла и непрекращающимися ремонтами, во многом обусловил кризис жилищно-коммунального

хозяйства (ЖКХ) [1]. Для предотвращения коллапса ЖКХ необходимо не только изыскать финансовые возможности для замены трубопроводных систем, но и, используя накопленный специалистами опыт, разработать стратегию создания надёжных и долговечных систем на основе современных достижений науки и техники в области материаловедения.

Статистические данные последних лет [2-5] подтверждают критическую степень изношенности водопроводных, канализационных и тепловых трубопроводов урбанизированных территорий Украины (табл. 1).

Частые аварии на сетях отрицательно сказываются как на жизнеобеспечении населения и окружающей природной среде, так и на экономике предприятий. Основной причиной сложившейся ситуации является физический износ сетей [1].

Таблица 1

Состояние основных коммунальных сетей Украины

Сети	Протяженность, км	Износ (среднее значение)	
		%	км
Водоснабжение	>113000	>38	≈43000
Канализация	>46000	>36	≈16600
Теплоснабжение (двухтрубное исчисление)	>33200	ок.63	≈20900

Износ сетей напрямую не связан с возрастом этих сооружений. Есть примеры надежной безаварийной работы трубопроводов на протяжении многих десятилетий, но встречаются случаи раннего выхода сетей из строя, всего лишь через несколько лет после начала эксплуатации.

Так, обследование чугунного водовода  $D = 800$  мм на старейшем металлургическом заводе в Донецке, показало, что после 90 летней эксплуатации он находится в прекрасном состоянии, а железобетонный канализационный коллектор  $D = 1200$  мм по улице Флотской сгнил от газовой биогенной коррозии на участке длиной 3,6 км всего через 4 года после ввода в эксплуатацию.

Анализируя данные многочисленных аварий, можно утверждать, что долговечность и надежность трубопроводов зависит от проектного, строительного и эксплуатационного этапов. Допущенные просчеты на любом из этих этапов, либо их поэтапное накопление являются причиной возникновения отказа сооружения и его преждевременного выхода из строя [3, 7].

1. Проектирование. Этот этап наиболее короткий, но самый важный. Именно при проектировании принимаются все основные решения, от правильности которых на 80 % зависит количество и качество трубопроводной системы. На этой стадии анализируют назна-

чение объекта, условия его будущей эксплуатации и в зависимости от этого принимают решение о выборе материала трубопровода. Правильность принятия решений на данном этапе позволит значительно уменьшить строительные и эксплуатационные затраты. На стадии проектирования при грамотном учете условий работы, нагрузок, воздействий и материалов закладываются как функциональные акценты сооружения, так и определяется его эксплуатационная жизнь. Потенциальная надежность объекта напрямую зависит и от капитальных затрат, закладываемых в процессе проектирования. Чем они выше, тем меньше эксплуатационные затраты и большая доля вероятности безотказной работы сооружения.

2. Строительство. В этот период оставшиеся 10–20% определяют качество трубопровода. Соблюдение всех монтажных правил, технологии монтажа, транспортировки, погрузки, разгрузки, приемки и хранения материала позволит обеспечить длительный и бесперебойный срок службы трубопровода и значительно снизить эксплуатационные расходы. Применение дефектных конструкций (рис. 1), нарушение технологий либо отклонение от проекта – это дополнительный фактор в создании проблем при эксплуатации объекта.



Рисунок 1 Заводские и транспортные дефекты ж/б труб

3. **Эксплуатация.** Наиболее продолжительный период в жизни трубопроводных систем, сопоставимый со сроком службы здания или населенного пункта (50–100 лет). Именно при эксплуатации выявляются все недостатки проектных решений и монтажа, при значительной величине которых затраты на эксплуатацию достигают критической величины, что напрямую отражается на материальном благосостоянии граждан. Необходимо отметить, что затраты на эксплуатацию систем трубопроводов многократно превышают первоначальные затраты на их монтаж и проектирование (иногда в десятки раз).

Этап эксплуатации трубопроводов – это не только наблюдение за их состоянием и контроль за качеством транспортируемых жидкостей, но и проведение технического обслуживания сооружения.

За время эксплуатации трубопроводы приносят эффект в виде выполненной работы в заданном объеме, но в то же время требуют затрат на поддержание их работоспособного состояния. Во времени эти функции затрат и прибыли соответственно монотонно убывают и возрастают в зависимости от внешних факторов, системы технического обслуживания и ремонта, износа объектов. Существует оптимальный срок замены объектов с точки зрения текущего соотношения затрат и выгоды, и с точки зрения стоимости владения объектом (рис. 2).

Периодически стоимость сооружения увеличивается на сумму выполненного ремонта. С течением времени затраты на ремонты увеличиваются, так как исчерпывается ресурс объекта (рис. 3) [8].

При этом постепенно увеличивается доля времени пребывания объекта в ремонте, возрастает количество отказов, снижается надежность объекта.

Отказ – это не только нарушение герметичности вследствие физического разрушения элемента или его части, но и перебои в подаче воды, утечки, снижение расхода, повышение или понижение температуры.

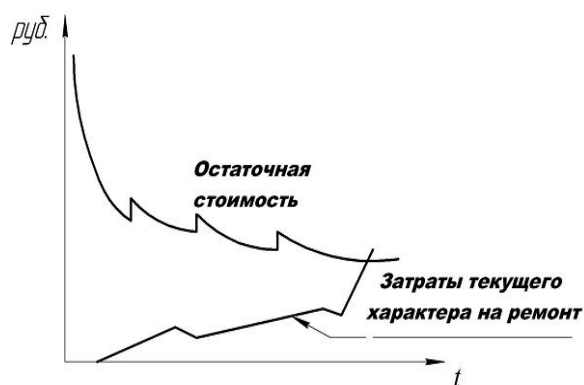


Рисунок 2 Зависимость остаточной стоимости сооружения от времени



Рисунок 3 Зависимость эффективности работы сооружения и затрат на ремонт от времени

Теоретический термин «отказ» на практике может иметь такой вид (рис. 4). Частота отказов отечественных трубопроводов из различных материалов приведена на рисунке 5 [4, 5].



Рисунок 4 Виды отказов коммунальных трубопроводов

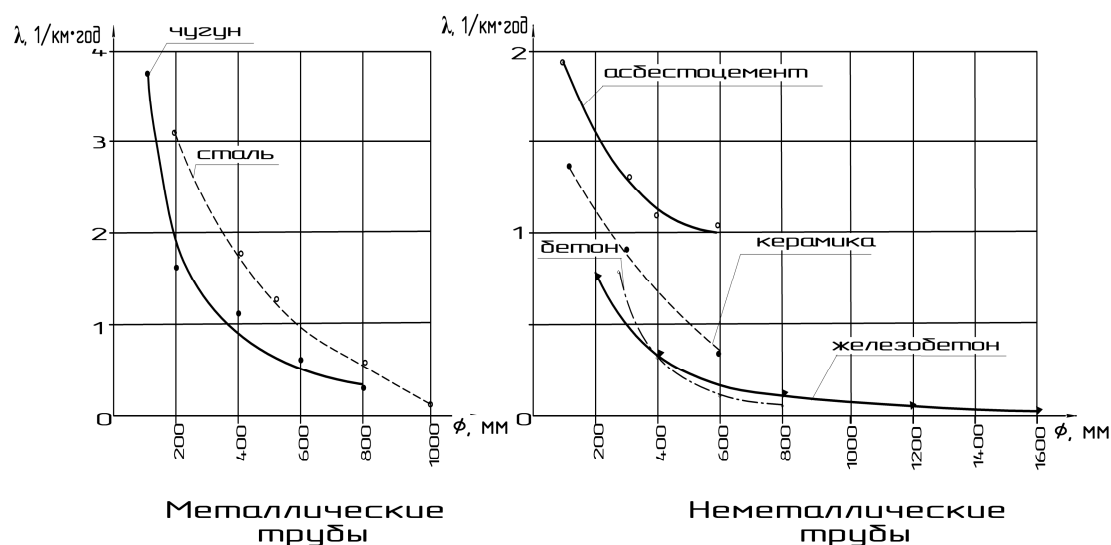


Рисунок 5 Зависимость частоты отказов трубопроводов от их диаметра и материала в Украине

Приведенные данные в количественном плане означают, что ежегодно на металлических трубопроводах на каждые 100 км происходит до 360 отказов, а на неметаллических – до 180 отказов с различной тяжестью последствий, вплоть до аварийных ситуаций. Из общей протяженности основных коммунальных сетей Украины в 192200 км – 80500 км, а это составляет 42% трубопроводов, находящихся в **аварийном состоянии**. Учитывая, что подавляющее число трубопроводов построены в 60-70 годах прошлого

века (по критериям ежегодной амортизации 2-5% в зависимости от материала труб), то еще 30-35% сетей находятся в ветхом состоянии. Современное состояние подземных трубопроводов уже называют «подземным Чернобылем» [9, 10].

Сопоставляя реальный и нормативный срок службы трубопроводных систем ЖКХ (табл. 2), можно констатировать, что они отработали свой ресурс, создали кризисную ситуацию в отрасли и требуют кардинального обновления.

Таблица 2

Нормативные требования к трубопроводным системам ЖКХ

СНиП	Транспортируемые среды	Температура, °С	Максимальное рабочее давление, МПа	Нормативный срок службы, лет
2.04.01-84 Внутренний водопровод и канализация зданий	Холодная вода	20	0.6	50
	Горячая вода	75	0.6	25
	Бытовые стоки	60(90)		50
41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование	Теплоноситель (Горячая вода)	95	0.6	25
2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения	Бытовые стоки	40		50
2.04.02-84 Наружные сети и сооружения	Холодная вода	20	0.6	50
2.04.07-86 Тепловые сети	Горячая вода	95(150)	1.6	25

В настоящее время планово-предупредительный ремонт сетей и оборудования систем водоснабжения, канализации и коммунальной энергетики практически полностью уступил место аварийно-восстановительным работам, затраты на проведение которых в три раза превышают стоимость строительства новых трубопроводов.

Надо признать, что реформа ЖКХ невозможна без реконструкции и обновлений трубопроводных систем на основе новых научно и практически обоснованных подходов.

Чтобы не совершить очередной стратегической ошибки и через 50 лет снова не столкнуться с кризисом трубопроводных систем ЖКХ, выбирая трубы для трубопроводных систем, необходимо учитывать негативный опыт прошлого.

#### Истоки проблемы

Исторические, природные, социальные, экономические, территориальные и строительные особенности обусловили в Украине использование широкого по материалу спектра труб. Качественный состав по материалу труб сетей водоотведения приведен на рисунке 6 [1]. Удельный вес металлических (чугунных и стальных) труб в наружных сетях водоотведения составляет около 25%. Из неметаллических труб преобладают керамические (38,3%), бетонные и железобетонные (суммарно 28,2%), асбестоцементные (8,6%), на долю пластиковых труб приходится менее 1%.

Сравнивая надежность металлических и неметаллических труб по частоте отказов, отметим, что для металлических труб она в несколько раз выше, чем для неметаллических (рис. 6).

Это объясняется большей коррозионной устойчивостью последних к грунтовой агрессии и блуждающим токам. Из этого наблюдения следует, что широкое применение незащищенных от коррозии металлических труб было стратегической ошибкой. Единственным оправданием их использования может служить только их доступность, высокая механическая прочность,

сравнительно высокая скорость и простота монтажа таких трубопроводов.

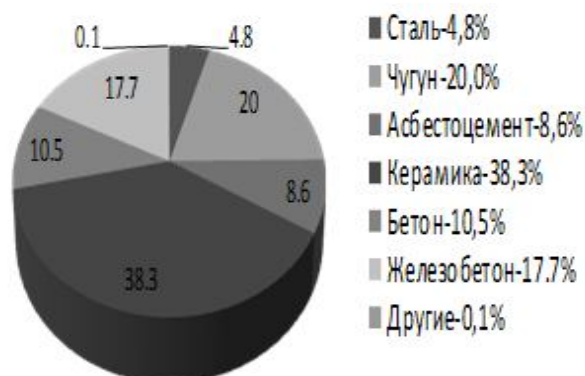


Рисунок 6 Состав трубопроводов водоотведения Украины по материалу

Независимо от материала труб частота отказов трубопроводов обратно пропорциональна их диаметрам [4]. Это связано с тем, что трубы меньших диаметров, как правило, располагаются на начальных участках сети на сравнительно небольшой глубине и находятся в поле различных физико-механических воздействий. Трубопроводы – линейные протяженные сооружения, располагаемые на неоднородном по длине основании. Количество стыковых соединений в зависимости от диаметра и материала труб колеблется от 1000 до 200 на километр трубопровода, а это очень серьезный фактор надежности сооружения. Акцентируя внимание на неметаллических трубопроводах как более стойких к коррозии, отметим, что при их диаметрах до 500 мм в 70% случаев происходит повреждение от физико-механического воздействия (раскрытие стыков, переломы труб, абразивное истирание лотков) и в 30 % – вследствие коррозии.

Железобетонные канализационные трубопроводы диаметром более 500 мм вследствие большей массивности только в 33% случаев подвержены физико-механическому воздействию, а в 67% случаев разрушаются газовой-био-генной коррозией под действием внутренней эксплуатационной среды, приводящей к масштабным авариям.

За рубежом, например в Германии, частота отказов трубопроводов примерно на порядок ниже, а на фактор коррозии приходится лишь около 7% разрушений [11; 12], что объясняется высоким качеством изготовления труб и конструкций, а также лучшим техническим обслуживанием и уходом за сетями (вентиляция, промывка, транспортирование смешанных вод, наблюдение, диагностика и др.).

Для сопоставления приведём структуру потребления труб в водопроводно-канализационном секторе за рубежом (рис. 7 [3]).

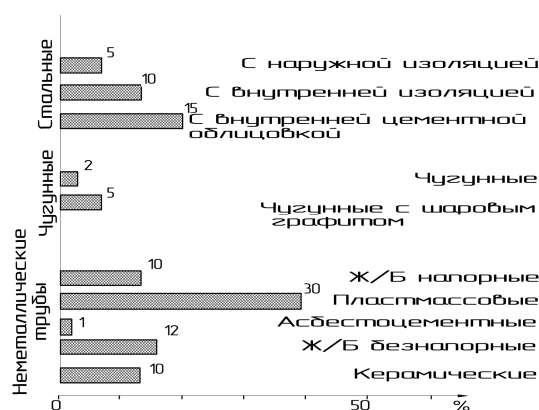


Рисунок 7 Структура потребления труб в зарубежных странах

Сопоставляя отечественные и зарубежные трубопроводы (на начало 2000 годов), можно отметить более высокий суммарный процент использования металлических труб за рубежом, но труб *изолированных*. Кроме того обращает внимание более высокий процент пластиковых труб (30%), что не идёт в сравнение с их отечественным использованием (1%). Бетонные и железобетонные трубы в отечественных сетях (28,2%) несколько превышают аналогичные за рубежом (22%).

Использование за рубежом защищенных от коррозии металлических труб и коррозионно-стойких пластиков, а это в сумме 67 % всей трубной продукции, обеспечивает их более высокую надёжность, а это автоматически означает, что отечественное

трубопроводное хозяйство ЖКХ морально устарело.

В сегменте неметаллических труб (рис. 7) лидируют полимерные трубы (30% на начало века). За последние годы это лидерство оценивается в 37–40%. Этому способствует как подтверждаемый реальный срок надёжной эксплуатации полимерных трубопроводов в 40-50 лет, так и совершенствование полимерных материалов и технологий [13].

Особенности трубопроводного строительства за рубежом (использование качественных, естественно, более дорогих труб, обеспечивающих эффективную и надёжную работу систем) должны быть использованы в отечественной практике при создании коммунальной инфраструктуры нового поколения. Безусловно, нельзя слепо копировать и переносить зарубежный опыт на отечественную почву без учёта собственных экономических, территориальных и строительных особенностей.

Мировая тенденция свидетельствует о все более широком использовании полимерных материалов в коммунальной сфере не только во внутри домовых сетях, но и в наружных трубопроводах, что является предпосылкой их предпочтительного использования в ближайшей перспективе в отечественной практике.

Проанализируем технические, механические, коррозионные, гидравлические, эксплуатационные и экологические характеристики труб из различных материалов в сопоставлении с полимерными (табл. 3).

Комплексный анализ характеристик труб из приведенных материалов даёт основание отдать предпочтение полимерным трубам, которые могут быть использованы во всех трубопроводных системах ЖКХ и обладают такими свойствами:

- высокая коррозионная и химическая стойкость, долговечность (гарантированный срок эксплуатации — от 25 лет). Незначительная вероятность образования отложений на внутренней поверхности трубы;

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 3

Сравнительные характеристики труб

ВИД ТРУБЫ	СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБ					
	СВОЙСТВА	ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП)	ПОЛИЭТИЛЕН (ПЭ)	ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (ПВХ)	ЧУГУН	СТАЛЬ (нержавеющая)
удельный вес 1 м/п, Dn = 160 мм, кг	7,06	3,77	5,62	28,1	17,5	104,9
степень шероховатости внутренней поверхности	поверхность гладкая	стены гладкие, способствуют малому сопротивлению потоку	низкая шероховатость, способность к самоочистке, исключаются потери на трение	высокая, зависит от внутреннего покрытия (эпоксид)	стальные трубы подвержены зарастанию внутренней поверхности коррозией, что приводит к повышенной шероховатости	повышенная, вследствие чего увеличивается гидравлическая сопротивляемость трубы
устойчивость к коррозии, зарастанию сечений	отсутствие коррозии и зарастания сечений	не подвержен коррозии и зарастанию сечений	полное отсутствие коррозии и зарастания сечений	мало подвержен коррозии (но обязательно иметь антикоррозийную защиту)	подвержена электрохимической коррозии и зарастанию сечений в короткий срок эксплуатации	подвержен коррозии арматуры в короткие эксплуатационные сроки, что приводит к образованию микро- и макро- трещин в теле трубы; неустойчив к зарастанию сечений
устойчивость к блуждающим токам	диэлектрик	диэлектрик	диэлектрик	является проводником	является проводником	неустойчив

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 3

ВИД ТРУБЫ	ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП)	ПОЛИЭТИЛЕН (ПЭ)	ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (ПВХ)	ЧУГУН	СТАЛЬ (нержавеющая)	ЖЕЛЗОБЕТОН
СВОЙСТВА						
устойчивость к воздействию химически активных соединений и активных веществ, хлорированию	устойчивость к воздействию химических соединений и активных веществ, хлорированию	высокая устойчивость к большинству химических соединений, неустойчив к активным веществам (не рекомендован для канализации)	повышенная (по сравнению с другими полимерами) степень химической стойкости, стойкость к хлорированию и активным веществам	неустойчива к воздействию органических кислот; стыковые соединения неустойчивы к агрессивным бытовым и производственным жидкостям	устойчива	неустойчив к воздействию кислот, щелочей и солей
устойчивость к воздействию биологических организмов (бактерии, грибки)	В	В	В	Н	С	Н
устойчивость к УФ-излучению	теряет прочностные качества	стареет при попадании прямых солнечных лучей, становится хрупким	устойчив, но светлеет при длительном воздействии		проницаема для УФ-излучения	
уровень износоустойчивости	В	В	В	Н	С	Н

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 3

ВИД ТРУБЫ	ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП)	ПОЛИЭТИЛЕН (ПЭ)	ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (ПВХ)	ЧУГУН	СТАЛЬ (нержавеющая)	ЖЕЛЗОБЕТОН
	СВОЙСТВА					
транспортная, монтаж	небольшой вес облегчает транспортировку и монтаж, соединение раструбное, производится вручную, при больших диаметрах – с помощью универсальных и доступных приспособлений и инструментов	относительная простота транспортировки (за счет толщины стенки увеличивается удельный вес), поставляются в двух различных упаковках – бухты и пучки, одиночные трубы переносятся вручную, монтаж - при помощи стыковой сварки и электромонтажа	простота транспортировки, раструбное соединение осуществляется механически, без применения больших физических усилий и специализированной подготовки, не требует специального оборудования, что увеличивает скорость монтажа в 5-6 раз, легки в монтаже при любых способах прокладки (значительная экономия времени и средств)	транспортировка, как и монтаж, требует специального дорожного стоящего погрузочного оборудования, имеющего крупные габариты, соединение раструбное, стыковое и при помощи хомутов; большой вес трубы обязывает к применению значительных физических усилий при монтаже, даже с учетом минимального контакта с телом трубы, без квалифицированного специалиста невозможно обеспечить качество монтажа	транспортная, как и монтаж, требует специального дорожного стоящего оборудования, имеющего большие габариты; соединение на резьбе с помощью фланцев и сварки	транспортная и монтаж производится при помощи кранов с учетом грузоподъемности; соединение раструбное и стыковое

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 3

ВИД ТРУБЫ	ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП)	ПОЛИЭТИЛЕН (ПЭ)	ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (ПВХ)	ЧУГУН	СТАЛЬ (нержавеющая)	ЖЕЛЗО-БЕТОН
	СВОЙСТВА					
предел прочности при разрывах, МПа	28-35	20-38	30-50	-	-	-
коэффициент линейного расширения, МПа	$12 \times 10^{-5}$ (0,00012)	$14 \times 10^{-5}$ (0,00012)	$6 \times 10^{-5}$ (0,00012)	-	-	-
герметичность соединений	высокая, кроме соединительного узла с металлическими трубами	высокая	высокая; герметичность обеспечивают новые уплотнительные кольца различных конфигураций без дополнительных герметизирующих материалов	герметичность и изоляцию соединений обеспечивают качество используемого для этого герметизирующего материала и специализированный подход к монтажу	герметичность и изоляцию соединений определяет качество сварки; при использовании фитингов из полимеров с уплотнительной резинкой герметичность обеспечивают	гидроизоляцию в местах стычных и раструбных соединений обеспечивает битумная мастика и другие герметики отсутствуют

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 3

ВИД ТРУБЫ	ПОЛИПРОП ИЛЕН (ПП)	ПОЛИЭТИ- ЛЕН (ПЭ)	ПОЛИВИНИЛХЛО РИД (ПВХ)	ЧУГУН	СТАЛЬ (не- ржавею- щая)	ЖЕЛЗО- БЕТОН
СВОЙСТВА						
наличие фитингов, возможность соединения с другими материалами, размерный диапазон	Широкий ассортимент фасонных частей гарантирует выполнение соединений практически с любыми видами труб, весьма широкий диапазон длин и диаметров, минимизирует количество обрезков после монтажа	Широкая номенклатура соединительных деталей для сварки встык и переходы "сталь-полиэтилен", "чугун-полиэтилен"; основная часть типовых размеров выпускается длинными номерными отрезками (бухты 100 м, отрезки 12 м)	конструктивно-разнообразные фитинги обладают полной герметичностью и делают возможным соединение с любыми видами труб, обеспечивают прокладку трубопроводов в труднодоступных местах, широкий диапазон длин и диаметров, минимизирует количество обрезков после монтажа	весьма широкий ассортимент фасонных деталей формата "чугун-чугун"; наличие фитингов для соединений с полимерными трубами; небольшой диапазон длин (от 1 до 5 м); преобладание больших диаметров	ассортимент фасонных деталей ограничен форматом "сталь-сталь"; соединительные части с другими видами труб отсутствуют; широкий диапазон длин; преобладание больших диаметров	соединение с другими видами труб только при помощи фитингов из других материалов; выпускаются только большие диаметры
уровень морозостойкости, °С	-	до -70	до -10	до -60	-	до -50
рабочая температура, °С	до +95 (для некоторых видов - до -95)	до +40	до +40	до -50	-	до +50
уровень шума потока жидкости	С	С	С	В	В	В
вторичная переработка	подвержен	подвержен	подвержен			

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 3

ВИД ТРУБЫ						
	СВОЙСТВА	ПОЛИПРОПИЛЕН (ПП)	ПОЛИЭТИЛЕН (ПЭ)	ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (ПВХ)	ЧУГУН	СТАЛЬ (не ржавеющая)
область применения	наружное и внутреннее горячее и холодное водоснабжение (включая бесканальную прокладку), отопительные системы	наружное и внутреннее холодное водоснабжение, при строительстве водопроводов, для хозяйственно-питьевого водоснабжения, применяются в газификации	системы внутренней и наружной канализации (напорной и безнапорной), холодное хозяйственно-питьевое водоснабжение	прокладка трубопровода (распорные трубы), в холодильных установках, килотопроводах, теплообменниках, канализационных сетях, газопроводах и нефтепроводах	открытая прокладка трубопровода, внутренняя разводка системы водоснабжения и отопления	водопропускные системы, прокладка безнапорных и напорных трубопроводов ливневой, промышленной и бытовой канализации
срок службы	не менее 50 лет	не менее 50 лет	не менее 50 лет	не менее 50 лет	гарантийный срок для материала – 80 лет при правильном осуществленном монтаже	невысокая долговечность (15-25 лет), в связи с низкой коррозионной устойчивостью к транспортируемой жидкости

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 3

ВИД ТРУБЫ	ПОЛИПРОПИЛЕ Н (ПП)	ПОЛИЭТИЛЕН (ПЭ)	ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (ПВХ)	ЧУГУН	СТАЛЬ (нержа- вующая)	ЖЕЛЗО- БЕТОН
СВОЙСТ ВА						
<b>индиви- дуальные свойства</b>	некоторые виды ПП труб подвержены газопроницаемости, в частности про- никновению кисло- рода из воздуха; при монтаже чрез- мерный нагрев оп- лаваемой поверх- ности при раструб- ной стыковке чре- ват деформацией и образованием не- ровностей на внут- ренней поверхно- сти; хорошая ус- тойчи-вость к дав- лению; температур- ная формоустойчи- вость; высокие са- нитарно- гигиенические по- казатели	маленькая термо- стойкость (до +40; под давлением до +50); рекомендован для использования в болотных местно- стях; сопротивле- ние к проникнове- нию водяных па- ров; отсутствие по- требности в уходе и обслуживании; об- ладает повыше- ной эластичностью; сварочные соеди- нения имеют такую же или более высо- кую прочность, чем сама труба; высо- кие санитарно- гигиенические по- казатели	более жесткий, химически - и светостойкий, чем ПЭ; стоек к воздействию ки- слотной среды; обладает со- вершенными гидравличе- скими свойствами, не изме- няет вкус и химические свойства транспортируемой жидкости, при прокладке канализационных наружных систем отсутствует взаимо- действие с почвой и грунто- выми водами; использова- ние технологии Multi-Layer для наружных систем кана- лизации, что уменьшает массу трубы, не лишая её прочностных характери- стик; пониженная горючесть по сравнению с другими по- лимерами; отсутствие склонности к растрескива- нию; высокие санитарно- гигиенические показатели	высокая ус- тойчивость к темпера- турным воз- действиям, высокая прочность, невысокая сопроти- вляемость внешним и внутренним динамиче- ским воздей- ствиям, большой ра- сход мате- риала при производстве труб; повыш- енная пожа- робезопас- ность; низкая пластичность (хрупкий)	обладает повы- шенной прочно- стью, способность вы- держивать вы- сокие динамиче- ские, статистиче- ские и изгибаю- щие внутренние и внешние нагруз- ки, ограниченная область примене- ния (условия про- кладки ограни- ченны уровнем промерзания грунта); высокая теплопроводи- мость; проницае- ма для кислорода	разрушает- ся при воз- действии отрица- тельных темпе- ратур, вступают в реакцию с канализа- ционны- ми газами; большой расход ма- териала при про- иводстве труб

Примечание: В – высокий, С – средний, Н – низкий

– низкий коэффициент шероховатости – коэффициент шероховатости (Кш) стали равен 0,2, Кш полимерной трубы в среднем в 20 раз меньше и равен 0,01. Коэффициент шероховатости чугунных труб примерно в 40–50 раз больше, чем Кш полимерных труб;

– требуют меньших затрат электроэнергии на перекачку жидкости (это утверждение верно для горячего и холодного водоснабжения, поскольку там используется большая скорость потока транспортируемой среды);

– в 5–7 раз легче стальных, что облегчает монтажные работы, особенно в стесненных условиях, поэтому небольшие перемещения их при монтаже не требуют грузоподъемных механизмов, недорогая доставка;

– низкая теплопроводность материала, снижающая тепловые потери и уменьшающая образование конденсата на наружной поверхности труб;

– отсутствие необходимости в обслуживании и катодной защите;

– стыковая сварка полиэтиленовых труб дешевле, проще, занимает меньше времени, не требует дополнительных расходных материалов; есть возможность многократного монтажа и демонтажа при низких затратах. Высокая надежность сварных швов соединений в течение всего срока эксплуатации трубопроводов;

– ремонтпригодность труб позволяет быстро ликвидировать механические повреждения;

– низкая вероятность физического разрушения трубопровода при замерзании жидкости, т. к. при этом труба увеличивается в диаметре, затем, при оттаивании жидкости, приобретает прежний размер; практически отсутствует опасность физического разрушения трубопровода от гидродаров вследствие сравнительно низкого модуля упругости. Стандартный запас прочности полимерных труб на 50–60 % выше расчетного рабочего давления;

– возможность поставки длинномерными отрезками (бухтами), что сокращает сроки и стоимость монтажа и прокладки трубопровода (на 1 км трубопровода диаметром 110 мм приходится всего два стыка), гибкость труб позволяет проходить повороты трассы трубопровода без использования фасонных деталей;

– возможность объединения в одной оболочке до четырех труб, что позволяет максимально оптимизировать схему прокладки нескольких сетей (горячего и холодного водоснабжения и теплоснабжения) в зависимости от назначения и характера трассы;

– есть возможность использовать полимеры для ремонта (фактически – для восстановления) стальных трубопроводов: протяжка профилированных полиэтиленовых труб внутри изношенных стальных незначительно изменяет диаметр водопровода, что позволяет сохранить в нем давление. Профилированная труба восстанавливает свою первоначальную форму и плотно прилегает к стенкам трубы под воздействием пара. Протяжка применима для реконструкции водопроводов диаметром от 100 до 500 мм. Существующая труба используется как футляр. Это уменьшает объем земляных работ, затраты на капитальный ремонт, сокращает сроки работ;

– полимерные трубы позволяют получить существенную экономию воды при промывке вводимых в строй трубопроводов – их достаточно промыть один раз, тогда как стальные – минимум три раза;

– позволяют увеличивать скорость транспортируемой жидкости в напорных трубопроводах до 6–9 м/с;

– экологическая чистота полимерных труб. Многочисленные исследования показали, что трубы из ПВХ являются безвредными и не опасны для здоровья человека. В процессе эксплуатации данных систем не происходит выделения токсичных соединений, а при транспортировке питьевой воды не изменяются ее органолептические свойства. Материал ПВХ не способствует размно-

жению бактерий. Это свойство помогает в решении проблемы вторичного загрязнения в водоснабжении. Прежде чем попасть к конкретному потребителю, предварительно очищенная вода проделывает длинный путь порой до нескольких десятков километров. На этом пути происходит ее вторичное загрязнение вследствие низкого качества самой системы трубопроводов и застаивания в них воды. В традиционной системе стальных трубопроводов в воду попадают ионы железа и размножаются бактерии. Использование труб из ПВХ исключает первую и снижают вторую составляющую такого загрязнения;

– несмотря на очевидные преимущества полимерных труб перед другими, не стоит забывать о том, что «полимеры» имеют жесткие ограничения по рабочему давлению, напрямую зависящему от средней температуры в течение всего срока эксплуатации, а также максимальному диаметру трубы. И с этими ограничениями приходится считаться [3, 14].

#### **Модернизация трубопроводов – путь повышения их надежности**

По данным специалистов, несмотря на более чем полувековой опыт со дня создания полимерных труб, происходит их постоянное совершенствование и «обкатка» новых технологий производства, повышения качества материала и доработки конструкций [13]. Судя по тому, что полимерные и пластиковые трубы практически вытеснили во внутридомовых сетях все другие виды трубопроводных материалов, можно утверждать, что то же ожидает и наружные коммунальные сети. Вероятно, что полимерные материалы – это материалы третьего тысячелетия в коммунальной сфере.

Наряду с полимерными материалами в трубопроводном строительстве еще долго будет использоваться и железобетон.

Железобетонные трубы за многие десятилетия своего применения хорошо зарекомендовали себя в системах канализации. Поэтому даже при появлении новых коррозионно-стойких пластиков они до сих пор

активно используются как за рубежом (22%), так и у нас в стране (28,2%).

Следует полагать, что железобетонные трубы и в дальнейшем останутся одним из основных конструктивных элементов сетей водоотведения. Но это должны быть трубы нового поколения, выполненные из особо плотного бетона, отличающиеся более высокими механическими характеристиками и более стойкие к коррозии.

Зарубежный опыт широкого применения пластиковых труб в системах водоотведения заслуживает внимания и должен быть использован в отечественной практике. С точки зрения эксплуатационной надежности сети водоотведения должны конструироваться из двух материалов: полимерных и железобетонных труб. Экономическую целесообразность использования каждого из этих материалов иллюстрирует рисунок 8.

Таким образом, полимерные трубы экономически конкурентны железобетонным до диаметра 500 мм. Как было показано выше, трубопроводы из всех видов труб диаметром до 500 мм имеют максимальное количество отказов от всех видов воздействий.

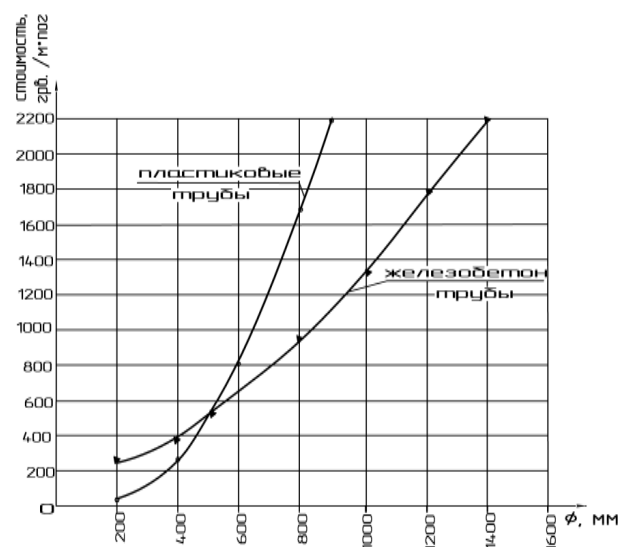


Рисунок 8 Стоимость погонного метра трубы в зависимости от диаметра (цены 2015 г.)

Поэтому именно полимерные трубы как по экономическим, так и по техническим параметрам наиболее эффективны в данном случае. По имеющимся данным определим примерную потребность в полимер-

ных трубах для осуществления восстановления всех коммунальных трубопроводов диаметром 400-500 мм. Результат представлен в таблице 4.

Таблица 4

Потребность в полимерных трубах диаметром менее 500 мм для восстановления и реконструкции трубопроводных систем ЖКХ

Сети	Протя- женность, км	Процент труб, d, мм		Протя- жен- ность, к м	Износ %	Протя- женность, км
		≤500	≤400			
Водоснабжение	>113000	-*	73	82400	>38	31200
Канализация	>46000	60	-	27600	>36	9900
Теплоснабжение (двухтрубное исчисление)	>33200	-	95	31200	ок.63	19600
<b>Итого</b>	<b>192200</b>			<b>141200</b>		<b>60700</b>

Примечание. \*Данные отсутствуют

Как следует из таблицы, для восстановления и реконструкции трубопроводов ЖКХ диаметрами до 500 мм необходимо более 60 тыс. км полимерных труб. Из них для систем водоснабжения необходимо более 31 тыс. км труб, для систем теплоснабжения и водоотведения – около 20 и 10 тыс. км труб соответственно. Приведенные данные позволяют осмыслить объемы необходимых работ, сформулировать идеологию переоснащения трубопроводной инфраструктуры ЖКХ, разработать соответствующую Программу, изыскивать источники финансирования и осуществлять планирование всего этого непростого проекта.

Трубопроводы больших диаметров (от 600 до 2400 мм) могут быть как комбинированными (железобетонный несущий каркас + полимерная внутренняя облицовка), так и полностью выполнены из железобетона. При этом железобетон должен применяться особо плотный с минимальной водонепроницаемостью W 10.

Несомненно, что в осуществлении столь грандиозного проекта по созданию высоконадежных трубопроводных систем

должны участвовать высококвалифицированные специалисты, подготовку которых необходимо начинать уже сейчас.

#### Выводы.

1. Трубопроводные системы ЖКХ, отработав несколько десятилетий, вследствие физического и морального износа нуждаются не просто в замене, а требуют перехода на новый качественный уровень за счет использования эффективных и долговечных материалов.

2. Новое поколение коммунальных трубопроводных систем обязано обладать высокой эксплуатационной надёжностью, которую могут обеспечить трубы из термопластов на участках сети с диаметрами до 500 мм и железобетонные трубы на основе особо плотных тяжелых бетонов на участках с диаметрами, превышающими 500 мм.

3. Повышение долговечности бетонных канализационных трубопроводов, работающих в условиях биологически активных эксплуатационных сред можно осуществить комбинированным физико-химическим методом, основанным на использовании особо плотных бетонов (пер-

вичная защита) с химической обработкой готовых изделий раствором кремнефтористоводородной кислоты  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  или её солями (вторичная защита бетона), либо би-

комбинированным способом – применением железобетонных труб с внутренней полимерной облицовкой

### Библиографический список

1. Дрозд, Г. Я. О техническом состоянии канализационных сетей Украины [Текст] / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова // Водопостачання та водовідведення. — Київ, 2012. — № 1. — С. 34–40.
2. Романюк, О. М. Стан мереж водопостачання та водовідведення: загострення проблеми [Текст] / О. М. Романюк // Водопостачання та водовідведення. — Київ, 2013. — № 2. — С. 20–23.
3. Исаев, В. Н. Трубопроводные коммунальные системы [Текст] / В. Н. Исаев, Р. Ю. Хургин // Сантехника. — Москва, 2006. — № 3. — С. 11–21.
4. Ромейко, В. С. Ещё раз о трубопроводах жилищно-коммунального хозяйства России [Текст] / В. С. Ромейко // Трубопроводы и экология. — 2002. — № 1 — С. 16–24.
5. Дрозд, Г. Я. Состояние и перспективы трубопроводных систем жилищно-коммунального хозяйства [Текст] / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова // Трубопроводы и экология, 2002. — № 1. — С. 16–24.
5. Дрозд, Г. Я. Водопостачання та водовідведення [Текст] / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова. — Київ, 2014. — № 1. — С. 15–21.
6. Дрозд, Г. Я. Надёжность канализационной системы и аварийные риски в производственной деятельности предприятий водопроводно-канализационного хозяйства [Текст] / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова // Вода и экология, Проблемы и решения. — Санкт-Петербург, 2013. — № 3(55). — С. 50–64.
7. Дрозд, Г. Я. Коррозионные разрушения, прогнозирование степени агрессивности эксплуатационной среды и обеспечение надёжности канализационных коллекторов на стадии проектирования [Текст] / Г. Я. Дрозд // Вода и экология. Проблемы и решения. — Санкт-Петербург, 2013. — № 1(53). — С. 40–59.
8. Героева, А. Г. Прогнозирование и диагностика технического состояния объектов коммунальной инфраструктуры [Текст] / А. Г. Героева, И. Ю. Зильберова // ЖКХ: журнал руководителя и главного бухгалтера. — 2011. — № 1.
9. Ромейко, В. С. Подземный Чернобыль [Текст] / В. С. Ромейко // Деловой мир. — 1994.
10. Бобылев, Л. М. Аварии в жилищно-коммунальном хозяйстве [Текст] / Л. М. Бобылев // Сантехника. — 2003. — № 6. — С. 13–16.
11. Berger Christian. Zustand der Kanalisation in Deutschland / Berger Christian, Lohaus Johaness, Wittner Andreas, Schäfers Ruth // KA-Wasserwirtschaft, Abwasser. — 2002 (49). — № 3. — S. 302–311.
12. Dietrich Stein. Instandhaltung von Kanalisation / Dietrich Stein // 3 Aufl. — Berlin: Ernst, 1998. — 941 p.
13. Ульрих Шюльт Мечта становится реальностью- 50 лет трубам из полиэтилена высокой плотности [Текст] / Шюльт Ульрих // Полимерные трубы, 2007. — № 4(5). — С. 71–77.
14. Исаев, В. Н. Особенности применения пластмассовых трубопроводов [Текст] / В. Н. Исаев, М. Г. Мхитарян // Сантехника. — 2006. — № 1. — С. 21–27.

© Дрозд Г. Я.

© Хвортова М. Ю.

Рекомендована к печати и.о. заведующего каф. СК, к.т.н., доц. ДонГТУ Псюком В. В., директором ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля, д.т.н., проф. Андрийчуком Н. Д.

Статья поступила в редакцию 03.10.16.

д.т.н. Дрозд Г. Я., к.т.н. Хвортова М. Ю. (ІБАіЖКГ ЛГУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР)

### ТРУБОПРОВОДИ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖКГ ЯК ОБ'ЄКТИ ПИЛЬНОЇ УВАГИ

*У статті показаний кризовий технічний стан трубопровідних систем ЖКГ, при експлуатації яких планово-попереджувальні ремонти поступилися місцем аварійно-відновним роботам, витрати на які утричі перевищують вартість будівництва нових трубопроводів. Розкриті основні причини ситуації, що склалася, і запропоновані підходи до створення трубопровідних систем нового покоління.*

**Ключові слова:** труба, матеріал, знос, відмова, аварія, довговічність, надійність.

Dr. Tech. Sci. Drozd G. Ya., PhD in Engineering Khvortova M. Y. (V. Dahl ISA and ZhKKh LGU, Lugansk, LPR)

### HEAT AND WATER PIPELINES AS THE OBJECTS OF PARTICULAR ATTENTION

*The article reveals a critical technical state of heat and water pipelines when emergency recovery works have replaced scheduled preventive repairs at their exploitation, which expenditures are three times the price for building the new pipelines. The main reasons of current situation have been disclosed and approaches for constructing next generation pipelines have been proposed.*

**Key words:** pipe, material, run-out, emergency, durability, reliability.

**МАШИНОСТРОЕНИЕ  
И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

---

---

**МАШИНОБУДУВАННЯ  
ТА МАШИНОЗНАВСТВО**

---

---

**MECHANICAL ENGINEERING  
AND MACHINE SCIENCE**



УДК 621.9.048.6

д.т.н. Михайлов А. Н.  
(ГОУ ВПО ДНР ДонГТУ, г. Донецк, ДНР),  
Таровик А. Б.  
(ГОУ ВПО ЛНР ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

### СНИЖЕНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ИНСТРУМЕНТА

*В работе приведены разработанные экспериментальные установки, с помощью которых удалось снизить тангенциальную силу резания на 55%, радиальную – на 25%. При этом наиболее рациональными режимами резания были глубина резания 1,5 мм и скорость резания 40 м/мин.*

**Ключевые слова:** ультразвуковое резание, радиальная сила резания, тангенциальная сила резания, экспериментальная установка, режимы резания.

#### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Снижение сил резания при обработке тонкостенных цилиндрических изделий является актуальной задачей современного машиностроения. Решение данной задачи реализуется за счет применения радиального и тангенциального наложений частотных колебаний на инструмент.

Постоянное развитие техники на современном этапе требует использования деталей, которые имеют тонкие стенки (с целью экономии материала и облегчения конструкции в целом). Решение проблемы снижения металлоемкости изделий в сочетании, как правило, с требованиями улучшения точностных характеристик и функциональных параметров привело к появлению всевозрастающего числа входящих в эти изделия деталей, характеризующихся как нежесткие, одну из основных групп которых составляют тонкостенные цилиндрические детали, получаемые преимущественно точением [1].

Использование традиционных технологий не позволяет зачастую получить желаемую точность обработки и обеспечить требуемую производительность, что вызывает необходимость искать нетрадиционные подходы к устранению возникающих проблем и находить оригинальные реше-

ния в отношении выполнения основных и вспомогательных операций [1].

Во всех ведущих отраслях промышленности все в больших масштабах применяют высокоэнергетические и комбинированные методы обработки материалов, в том числе и ультразвуковой [2]. С появлением тонкостенных изделий возникает необходимость создания новых методов и технологий для их обработки. Ультразвуковое резание является одним из таких перспективных методов обработки. При ультразвуковом резании создаются предпосылки для уменьшения влияния составляющих силы резания на формообразование деталей, особенно нежестких [3, 4, 5].

**Постановка задачи.** Целью данной работы является измерение сил резания при точении тонкостенных цилиндрических изделий с применением ультразвуковых колебаний инструмента. Для этого необходимо разработать приспособление для радиального и тангенциального направлений колебаний, провести экспериментальные исследования и проанализировать изменение радиальной и тангенциальной сил резания при обычном точении и при точении с ультразвуком.

**Изложение материала и его результаты.** Для обработки тонкостенных цилиндрических изделий была разработана экспериментальная установка для радиального

(рис. 1) и тангенциального наложения частотных колебаний (рис. 2).

Установка (рис. 1) состояла из ступенчатого концентратора 7, к которому через шпильку прикреплялся резец 2. К стальному листу 6 приваривалось кольцо 8, на котором крепился по внешней резьбе магнитострикционный преобразователь 9. Ступенчатый концентратор 7 с резцом 2 крепился по внутренней резьбе к магнитострикционному преобразователю 9. Собранный узел устанавливался на резцедержатель 1 станка и закреплялся винтами 5. Резец 2 устанавливался в рабочее положение между направляющими опорами 3 и поджимался винтами 4.

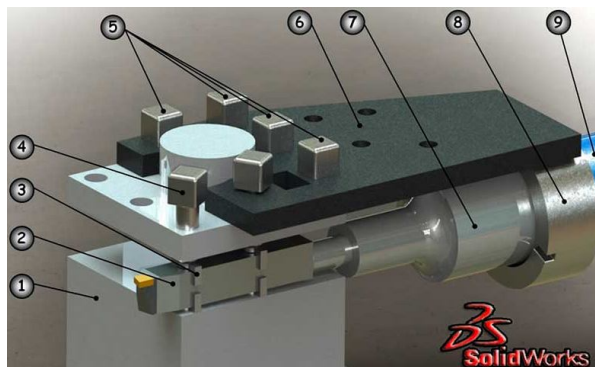


Рисунок 1 Экспериментальная установка для радиального направления колебаний

Установку (рис. 2), состоящую из магнитострикционного преобразователя 9, кольца 8, ступенчатого концентратора 7 и стального листа 6, устанавливали вертикально и закрепляли винтами 11 к стальному уголку 10, который, в свою очередь, крепился к резцедержателю 1 с помощью винтов 5. Резец 2, имеющий удлиненную хвостовую часть, устанавливался в рабочее положение между направляющими опорами 3 и закреплялся винтами 4, а к концентратору крепился с помощью шпильки.

Ультразвуковая обработка осуществлялась на токарно-винторезном станке модели 1М61. Источником высокочастотных колебаний служил магнитострикционный преобразователь модели ПМС-1-1. Источ-

ником питания являлся ультразвуковой генератор модели УЗГ-1-1.

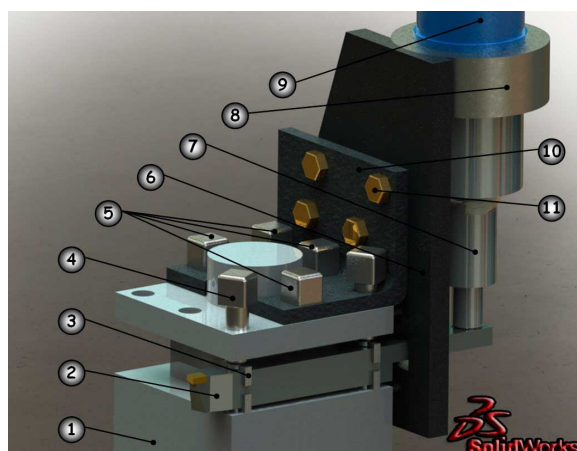


Рисунок 2 Экспериментальная установка для тангенциального направления колебаний

Для эксперимента была взята заготовка в виде тонкостенной цилиндрической гильзы с габаритными размерами  $\varnothing 100 \times 200$ , толщина стенки 8 мм, материал заготовки – сталь 45.

В качестве режущего инструмента был использован резец проходной (угол  $\phi = 45^\circ$ ) с механическим креплением квадратной твердосплавной пластины Т5К10.

Для дальнейшего исследования были выделены следующие факторы:

- глубина резания  $t = 0,5; 1,0; 1,5$  мм;
- скорость резания  $v = 40; 60; 80$  м/мин;
- подача  $s = 0,5$  мм/об;
- частота колебаний  $f = 20$  кГц;
- амплитуда колебаний  $a = 10$  мкм.

Измеряемым параметром были радиальная и тангенциальная составляющие силы резания. Измерения проводились с помощью датчиков на основе тензорезисторов и выдавались на экран компьютера. Данные были получены в милливольтх ( $mV$ ) с интервалом в 1 миллисекунду ( $ms$ ).

На рисунках 3-8 изображены графики изменения средних значений радиальной и тангенциальной сил резания от скорости для обычной и ультразвуковой обработки при глубине резания 0,5, 1,0 и 1,5 мм.

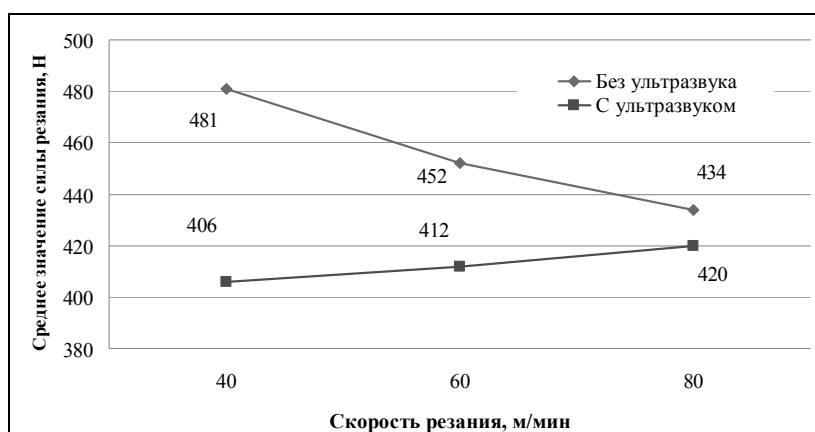


Рисунок 3 График изменения среднего значения силы резания от скорости для обычной и ультразвуковой обработки (радиальное направление колебаний) при глубине резания 0,5 мм

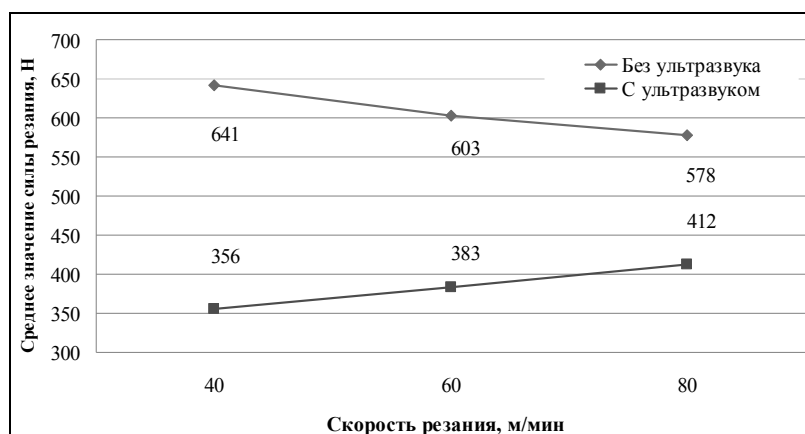


Рисунок 4 График изменения среднего значения силы резания от скорости для обычной и ультразвуковой обработки (тангенциальное направление колебаний) при глубине резания 0,5 мм

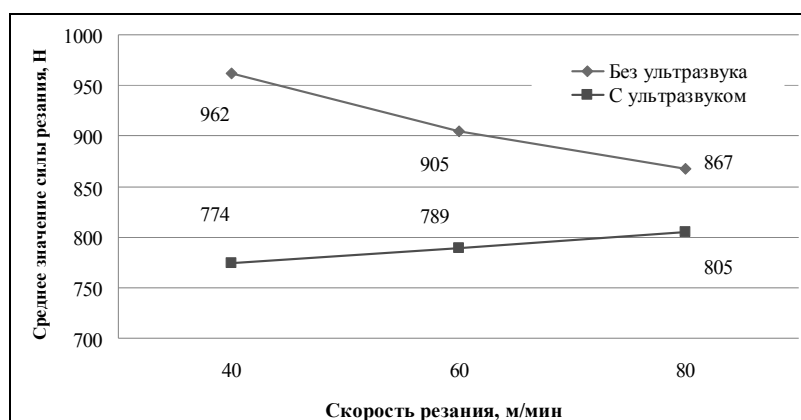


Рисунок 5 График изменения среднего значения силы резания от скорости для обычной и ультразвуковой обработки (радиальное направление колебаний) при глубине резания 1,0 мм

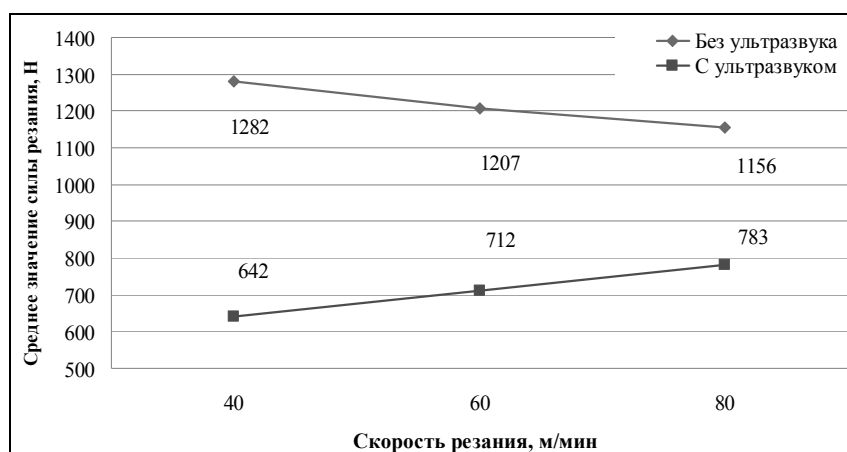


Рисунок 6 График изменения среднего значения силы резания от скорости для обычной и ультразвуковой обработки (тангенциальное направление колебаний) при глубине резания 1,0 мм

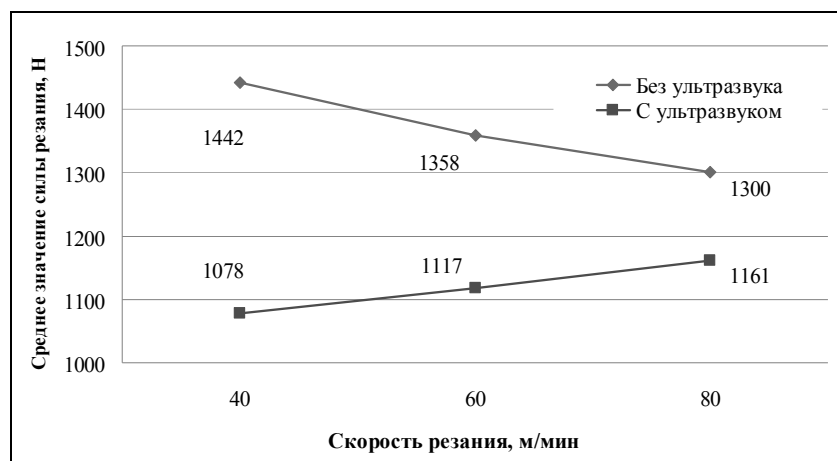


Рисунок 7 График изменения среднего значения силы резания от скорости для обычной и ультразвуковой обработки (радиальное направление колебаний) при глубине резания 1,5 мм

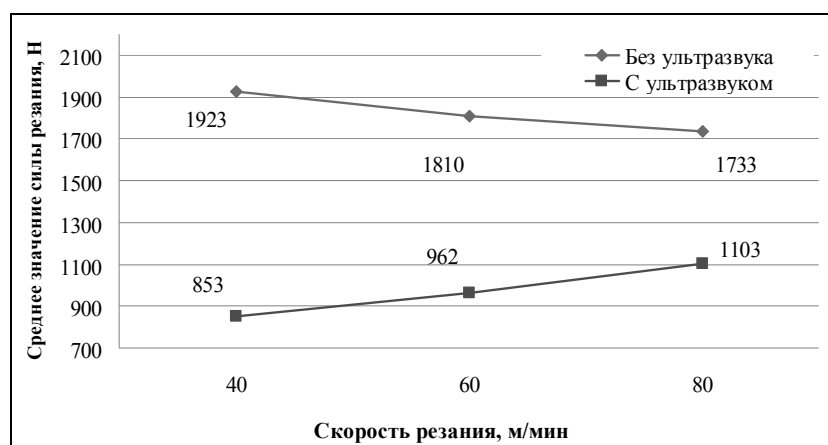


Рисунок 8 График изменения среднего значения силы резания от скорости для обычной и ультразвуковой обработки (тангенциальное направление колебаний) при глубине резания 1,5 мм

Из данных графиков видно, что для обычного резания с повышением скорости средняя составляющая силы резания уменьшается. Для резания с ультразвуком наблюдается обратная зависимость, а именно – с повышением скорости среднее значение составляющей силы резания повышается.

Наименее эффективным оказалось ультразвуковое резание при скорости 80 м/мин, о чем говорит незначительное снижение силы резания от 3,23 до 10,69% при радиальном направлении колебаний и от 28,72 до 36,35% при тангенциальном направлении колебаний. Наиболее эффективным оказалось ультразвуковое резание при скорости 40 м/мин: процентное снижение силы резания составило от 15,59 до 25,24% при радиальном направлении колебаний и от 44,46 до 55,64% при тангенциальном.

Из приведенного выше материала следует, что эффект от применения ультра-

звукового резания тонкостенных цилиндрических деталей наблюдается, причем данный вид обработки позволил снизить радиальную силу резания на 25%, а тангенциальную – на 55%, что несомненно может считаться положительным результатом.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Исследования показали, что наиболее рациональными условиями обработки на примере тонкостенной цилиндрической гильзы являются глубина резания 1,5 мм и скорость резания 40 м/мин, что привело к снижению радиальной составляющей силы резания на 25,24% и тангенциальной составляющей силы резания на 55,64%.

Среди задач для дальнейшего изучения следует отметить необходимость исследования влияния толщины стенки, амплитуды и частоты колебаний на ультразвуковое резание тонкостенных цилиндрических изделий.

#### **Библиографический список**

1. Пашков, Е. В. Технологические основы обработки точением тонкостенных цилиндрических деталей [Текст]: учеб. пособие для студ. машиноприборостроит. спец. / Е. В. Пашков. — Севастополь : СевГТУ, 2000. — 425 с.: ил.
2. Аверьянова, И. О. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки [Текст]: учеб. пособие / И. О. Аверьянова, В. В. Клепиков. — М. : ФОРУМ, 2008. — 304 с.: ил.
3. Кумабэ, Д. Вибрационное резание [Текст] / Д. Кумабэ; под ред. И. И. Портнова, В. В. Белова. — М. : Машиностроение, 1985. — 424 с.: ил.
4. Солис Пинарготе, Н. В. Разработка направлений повышения качества токарной обработки с применением тангенциального вибрационного резания [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07 / Солис Пинарготе Нестор Вашингтон; Инженерный факультет Российского университета дружбы народов. — М., 2011. — 20 с.
5. Марков, А. И. Ультразвуковая обработка материалов [Текст] / А. И. Марков. — М. : Машиностроение, 1980. — 237 с.: ил.

© Михайлов А. Н.

© Таровик А. Б.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ТОМП ДонГТУ Зелинским А. Н., к.т.н., доц. каф. ТМ ДонНТУ Лахиным А. М.*

Статья поступила в редакцию 31.10.16.

**д.т.н. Михайлов О. М. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР), Таровик А. Б. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**  
**ЗНИЖЕННЯ СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИ-**  
**РОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ІНСТРУМЕНТА**

*У роботі наведені розроблені експериментальні установки, завдяки яким вдалося знизити тангенціальну силу різання на 55%, радіальну – на 25%. При цьому найбільш раціональними режимами різання були глибина різання 1,5 мм і швидкість різання 40 м/хв.*

**Ключові слова:** ультразвукове різання, радіальна сила різання, тангенціальна сила різання, експериментальна установка, режими різання.

**Doc. of Sc. Mikhailov A. N. (DonNTU, Donetsk, DPR), Tarovik A. B. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**  
**REDUCING A CUTTING POWER WHEN TURNING THE THIN-WALLED CYLINDRICAL**  
**ITEMS USING TOOL ULTRASONIC VIBRATIONS**

*The paper presents the experimentally developed appliances enabling reducing the tangential cutting force by 55%, radial - by 25%. The most rational cutting conditions are cutting depth 1,5 mm and cutting speed 40 m/min.*

**Key words:** ultrasonic cutting, radial cutting force, tangential cutting force, experimental appliance, cutting conditions.

УДК 681.51

к.т.н. Зотов В. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РЕАКЦИЙ СИСТЕМ С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Предложена методика расчета переходных процессов в динамических системах, обладающих большим транспортным запаздыванием. Приведен алгоритм вычисления реакций систем, объекты которых аппроксимируются типовыми инерционными звеньями с запаздыванием.

**Ключевые слова:** динамическая система, инерционное звено, транспортное запаздывание, переходный процесс.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** При решении задач анализа переходных процессов в динамических системах большое количество объектов приходится аппроксимировать передаточными функциями вида

$$W(p) = \frac{e^{-\tau p}}{Tp}; \quad W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{Tp + 1};$$

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)};$$

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau p}}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1},$$

где  $T$  – постоянная времени объекта;  $k$  – коэффициент усиления объекта;  $\tau$  – чистое запаздывание;  $\xi$  – коэффициент демпфирования;  $p$  – оператор Лапласа.

Указанными зависимостями описываются, в частности, процессы конвейерной транспортировки грузов, флотации, сушки, обезвоживания в вакуумных фильтрах, проветривания горных выработок и т. п.

Аналитическое вычисление переходных процессов, вызванных типовыми задающими воздействиями, реакций для систем с такими объектами затруднено ввиду наличия запаздывания. Особенно выделяются задачи, в которых запаздывание соизмеримо по величине с постоянной времени, или в несколько раз больше последней.

Решение таких задач методами теории дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом [1] не обеспечивает удовлетворительной точности, так как эти

методы разработаны для использования при малом отклонении аргумента. При соотношении запаздывания и постоянной времени  $\tau / T \geq 0,5$  практическое применение этих методов, как правило, невозможно.

Поэтому реакцию динамической системы с запаздыванием (рисунок 1) часто определяют, представив звено запаздывания в виде непрерывной эквивалентной функции. Это может быть ряд Падэ, Тейлора или цепь последовательно включенных апериодических звеньев. При этом, естественно, решение задачи можно получить лишь с некоторым приближением. Кроме того, для получения большей точности решения приходится увеличивать количество составляющих эквивалентной функции, что влечет за собой увеличение порядка дифференциального уравнения системы и существенно усложняет решение последнего. Если запаздывание соизмеримо с постоянными времени, то приемлемую точность можно получить только численными методами с применением компьютерной техники.

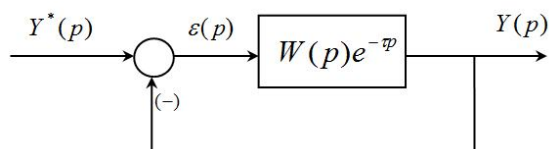


Рисунок 1 Исходная система

Наиболее естественным точным методом решения этой задачи является метод последовательного интегрирования (метод шагов), заключающийся в том, что непрерывное ре-

шение рассматриваемой задачи определяется из уравнения без запаздывания [2]. При этом отрезок, на котором требуется найти решение, разбивается на промежутки, равные величине чистого запаздывания. Внутри каждого промежутка определяется свое решение. В этом случае возникают сложности с составлением и решением дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы на каждом промежутке.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является модификация методики аналитического вычисления реакций систем с транспортным запаздыванием, обеспечивающей точность при  $\tau / T \geq 0,5$ , на основе метода последовательного интегрирования без составления дифференциальных уравнений.

**Изложение материала и его результаты.** При определенных условиях можно принять допущения, что параметры системы являются постоянными во времени. Тогда для вычисления реакции системы предлагается использовать следующую модификацию метода последовательного интегрирования.

Отрезок времени, на котором требуется найти решение, разбивается на промежутки длительностью  $\tau$ . Система рассматривается в разомкнутом виде без запаздывания. Для этого передаточная функция разомкнутой части системы разделяется на две части, включенные последовательно, одной из которых является звено чистого запаздывания. Затем звено запаздывания и обратная связь из структурной схемы системы исключаются (рисунок 2).

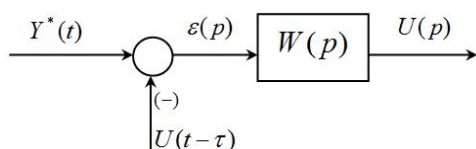


Рисунок 2 Скорректированная система

В дальнейших расчетах участвуют только выходная координата разомкнутой части без запаздывания  $U(t)$ , управляющее

воздействие  $Y^*(t)$ , рассогласование  $\varepsilon(t)$  и передаточная функция разомкнутой части без запаздывания  $W(p)$ . Вместо сигнала обратной связи используется зависимость  $U(t)$ , сдвинутая влево по оси времени на величину запаздывания  $U(t - \tau)$ . Входным воздействием разомкнутой части системы на  $n$ -м промежутке  $\varepsilon(t)_n$  считается разность между управляющим воздействием  $Y^*(t)_n$  и выходной координатой разомкнутой части без запаздывания на  $n-1$  промежутке  $U(t)_{n-1}$ :

$$\begin{aligned} \varepsilon(t)_n &= Y^*(t) - U(t - \tau) = \\ &= Y^*(t)_n - U(t)_{n-1}. \end{aligned} \quad (1)$$

В этом случае изображение по Лапласу выходной координаты

$$U(p)_n = \frac{U(\tau)_{n-1}}{p} + L[Y^*(t)_n - U(t)_{n-1}] \cdot W(p), \quad (2)$$

где  $U(\tau)_{n-1}$  – ордината переходного процесса в конце  $n-1$  промежутка.

Искомая реакция системы получается простым смещением вправо по оси времени на величину запаздывания оригинала выходной координаты разомкнутой части без запаздывания.

Слагаемое  $U(\tau)_{n-1} / p$  образовано следующим образом. Решение на  $n$ -м промежутке представляет собой сумму свободной и вынужденной составляющих переходного процесса. Свободная составляющая является обратным преобразованием Лапласа изображения решения на данном промежутке. Вынужденная составляющая есть численное значение ординаты переходного процесса в конце  $n-1$  промежутка  $U(\tau)_{n-1}$ , изображение по Лапласу которой

$$U(\tau)_{n-1} \longrightarrow \frac{U(\tau)_{n-1}}{p}.$$

Определяя реакцию системы (рис. 1) на управляющее воздействие  $Y^*(t)$  при нулевых начальных условиях, заметим, что на первом промежутке времени  $[0; \tau]$  звено

запаздывания сигнал не выдает, значит, реакция системы на этом промежутке

$$Y(t)_1 = 0.$$

При этом рассогласование равно управляющему воздействию:

$$\varepsilon(t) = Y^*(t).$$

Следовательно, реакция системы на данном промежутке

$$U(p)_1 = Y^*(p)_1 \cdot W(p) \longrightarrow U(t)_1.$$

В течение второго промежутка времени  $[\tau; 2\tau]$  на выходе звена запаздывания присутствует сигнал, являющийся искомой реакцией на этом промежутке, полностью аналогичный сигналу на входе звена на предыдущем промежутке времени (для упрощения принято, что время внутри каждого промежутка находится в пределах от 0 до  $\tau$ , т. е. отсчет времени производится заново).

$$Y(t)_2 = U(t)_1.$$

При этом эквивалентная структурная схема представляется в виде, показанном на рисунке 2. Рассогласование  $\varepsilon(t)_2$  в этом случае равно разности управляющего воздействия на текущем промежутке времени и сигнала на входе звена запаздывания на предыдущем промежутке:

$$\varepsilon(t)_2 = Y^*(t)_2 - U(t)_1,$$

следовательно

$$U(p)_2 = \frac{U(\tau)_1}{p} + L[Y^*(t)_2 - U(t)_1] \cdot W(p) \longrightarrow U(t)_2.$$

Аналогично определяется решение для последующих промежутков времени.

Заметим, что чем больше запаздывание относительно постоянных времени, тем больше информации о ходе переходного процесса содержится в решении для одного  $n$ -го промежутка, следовательно уменьшается трудоемкость решения – значит, метод эффективен только для анализа систем с большим запаздыванием.

Определим реакцию системы с объектом

$$W(p) = \frac{e^{-\tau p}}{Tp}$$

на управляющее воздействие в виде единичной ступенчатой функции при нулевых начальных условиях.

Рассмотрим первый промежуток  $[0; \tau]$ . В соответствии с (1), рассогласование на данном промежутке равно управляющему воздействию:

$$\varepsilon(t)_1 = Y^*(t);$$

$$\varepsilon(p)_1 = \frac{1}{p}.$$

Изображение по Лапласу реакции системы

$$U(p)_1 = \varepsilon(p)_1 W(p) = \frac{1}{p^2}.$$

Оригинал искомой функции получим, используя обратное преобразование Лапласа  $U(t)_1 = t$ .

Определим ординату переходного процесса в конце первого промежутка, необходимую для дальнейших расчетов  $U(\tau)_1 = \tau$ .

Рассматривая решение на втором промежутке  $[\tau; 2\tau]$ , для определения рассогласования используем уже известную реакцию системы на первом промежутке:

$$\varepsilon(t)_2 = Y^*(t)_2 - U(t)_1 = 1 - t;$$

$$\varepsilon(p)_2 = \frac{1}{p} - \frac{1}{p^2}.$$

В соответствии с (2), реакция системы на втором промежутке

$$U(p)_2 = \frac{U(\tau)_1}{p} + \varepsilon(p)_2 W(p) = \frac{\tau}{p} + \frac{1}{p^2} - \frac{1}{p^3};$$

$$U(t)_2 = \tau + t - \frac{t^2}{2};$$

$$U(\tau)_2 = 2\tau - \frac{\tau^2}{2}.$$

Аналогично определим реакцию системы на третьем промежутке:

$$\begin{aligned}\varepsilon(t)_3 &= 1 - \tau - t + \frac{t^2}{2}; \\ \varepsilon(p)_3 &= \frac{1-\tau}{p} - \frac{1}{p^2} + \frac{1}{p^3}; \\ U(p)_3 &= \frac{U(\tau)_2}{p} + \varepsilon(p)_3 W(p) = \\ &= \frac{2\tau - \frac{\tau^2}{2}}{p} + \frac{1-\tau}{p^2} + \frac{1}{p^3} - \frac{1}{p^4}; \\ U(t)_3 &= 2\tau - \frac{\tau^2}{2} + (1-\tau)t - \frac{t^2}{2} + \frac{t^3}{6}.\end{aligned}$$

Таким образом, можно сравнительно просто получить решение для  $n$ -го промежутика. Для сравнения на рисунке 3 показаны реакции данной системы, рассчитанные различными методами при  $\tau = 3$ .

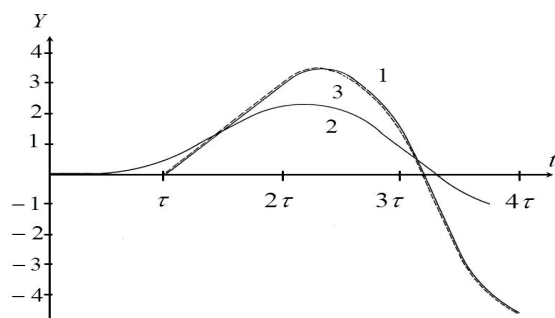


Рисунок 3 Реакции, рассчитанные различными методами

### Библиографический список

1. Норкин, С. Б. Дифференциальные уравнения второго порядка с запаздывающим аргументом [Текст] / С. Б. Норкин. — М. : Наука, 1965. — 354 с.
2. Эльсгольц, Л. Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом [Текст] / Л. Э. Эльсгольц, С. Б. Норкин. — М. : Наука, 1971. — 296 с.
3. Основы теории автоматического регулирования и управления [Текст] / А. А. Воронов и др. — М. : Высшая школа, 1977. — 519 с.

© Зотов В. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. ГЭиО ДонГТУ Корнеевым С. В., к.т.н., доц. СУНИГОТ Петровым А. Г.

Статья поступила в редакцию 18.10.16.

Здесь 1 – реакция, полученная аналитически описанным выше методом; 2 – реакция этой же системы, в которой звено запаздывания представлено рядом из пяти апериодических звеньев первого порядка [3]; 3 – реакция, полученная путем структурного моделирования в среде Matlab.

Полученные зависимости свидетельствуют об эффективности предложенной методики для анализа динамических систем с большим запаздыванием на конечном отрезке времени.

### Выводы и направление дальнейших исследований.

Решена задача модификации методики аналитического вычисления реакций систем с транспортным запаздыванием, обеспечивающей точность при  $\tau / T \geq 0,5$ , на основе метода последовательного интегрирования без составления дифференциальных уравнений. Предложенная методика может использоваться для получения аналитически точного расчета реакций систем с существенным запаздыванием, причем чем больше величина запаздывания относительно постоянной времени, тем больше эффективность и меньше трудоемкость метода.

**к.т.н. Зотов В. О.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ РЕАКЦІЙ СИСТЕМ З ТРАНСПОРТНИМ ЗАПІЗНЮВАННЯМ**

*Запропоновано методику розрахунку перехідних процесів у динамічних системах з великим транспортним запізнюванням. Наведено алгоритм обчислення реакцій систем, об'єкти яких апроксимуються типовими інерційними ланками із запізнюванням.*

**Ключові слова:** динамічна система, інерційна ланка, транспортне запізнювання, перехідний процес.

**PhD Zotov V. A.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**THE TECHNIQUE OF ANALYTICAL CALCULATION FOR REACTIONS OF SYSTEMS WITH TRANSPORTATION LAG**

*A calculation method for transients in dynamical systems with a large transport lag is proposed. The calculations algorithm for systems reactions which objects are approximated by the model inertial links with lag are presented.*

**Key words:** dynamical system, inertial unit, transportation lag, transition process.

УДК 622. 788

к.т.н. Козачишен В. А.,  
к.т.н. Изюмов Ю. В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ КОМКА ШИХТЫ В ОКОМКОВАТЕЛЕ БАРАБАННОГО ТИПА

Приведен алгоритм построения модели движения комка в барабанном окомкователе. Установлена зависимость скоростей комка от внешних факторов при реализации технологии окомкования в барабанном окомкователе.

**Ключевые слова:** модель, окомкование, сила трения, агломерационная шихта, гранулометрический состав.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Одним из приоритетных направлений повышения технико-экономических показателей работы агломерационных машин является увеличение высоты спекаемого слоя. Мировая практика аглопроизводства показывает, что спекание выполняется в слое 600-800 мм. При этом отечественные агломерационные машины работают на слое 300-400 мм. Одним из существенных факторов, влияющих на возможность повышения высоты спекаемого слоя, является качество окомкования, обеспечивающего требуемую газопроницаемость слоя [1].

Актуальность этой проблемы возрастает с увеличением доли мелкодисперсных железосодержащих компонентов шихты [2].

**Постановка задачи.** Наряду с технологическими факторами, влияющими на процесс окомкования, наблюдаются факторы, характеризующие механическое воздействие на агломерационную шихту при окомковании, рассмотрению этих аспектов способствует предлагаемая модель.

**Изложение материала и его результаты.** В настоящее время существует проблема разработки окомкователя, который способен обеспечить требуемый гранулометрический состав, особенно при изменяющихся шихтовых условиях. В качестве такого окомкователя может быть использован окомкователь барабанного типа [3]. Рассмотрим процесс движения частиц

шихтового материала в таком барабане. Движение комочка шихты сферической формы внутри барабана, ось которого наклонена под углом  $\alpha$  к горизонту, построено при следующих допущениях:

- внутренняя поверхность барабана – сплошная шероховатая;
- ось барабана АВ расположена под углом  $\alpha$  к горизонту;
- $R$ ,  $r$  – соответственно радиусы барабана и частицы;
- $x$ ,  $\varphi$  – обобщенные координаты частицы, а угловая скорость барабана  $\omega$  постоянна.

На рисунке 1 изображено сечение барабана, где показаны действующие силы в поперечном плане.

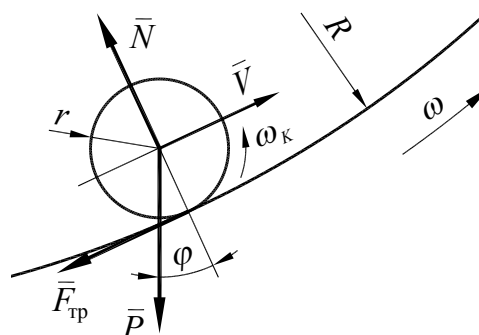


Рисунок 1 Схема сил, действующих на комочек шихты

При этом движение частицы в обобщенных координатах описывается уравнениями Лагранжа второго рода:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x$  – обобщенная координата, направленная вдоль оси барабана;  $\varphi$  – угловая обобщенная координата, связанная с движущимся комочком;  $Q_x$ ,  $Q_\varphi$  – соответствующие обобщенные силы.

Кинетическая энергия комочка:

$$T = \frac{mV^2}{2} + \frac{J\omega_K^2}{2},$$

где  $m$  – масса комочка;  $V$  – линейная скорость центра масс комочка;  $J$  – момент инерции комочка относительно оси вращения;  $\omega$  – угловая скорость комочка.

Момент инерции комочка:

$$J = \frac{2}{5}mr^2.$$

В принятой системе координат имеем:

$$\omega = \dot{\varphi}, \quad V = \sqrt{\dot{x}^2 + (R-r) \times \dot{\varphi}^2}.$$

Тогда выражение кинетической энергии примет вид:

$$T = \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + (R-r) \times \dot{\varphi}^2) + \frac{m}{5} \times r^2 \times \dot{\varphi}^2.$$

Выполнив подстановку известных величин, получим:

$$T = 8.25 \times 10^{-4} \times \dot{x}^2 + 1.117 \times 10^{-3} \times \dot{\varphi}^2.$$

Обобщенные силы  $Q_x$  и  $Q_\varphi$  определяются из выражений для элементарных работ:

$$\partial A_x = (P \times \sin \alpha - F_{\text{тр}}) \times \partial x,$$

где  $F = P \times f \times \cos \alpha$ ;  $P = mg$ ;  $f$  – коэффициент трения;  $\alpha$  – угол наклона оси барабана.

Тогда

$$Q_x = \frac{\partial A_x}{\partial x} = mg \cdot (\sin \alpha - f \times \cos \alpha);$$

$$\partial A_\varphi = \frac{\mu}{r} \times N \times R \times \partial \varphi - P \times \sin \varphi \times R \times \partial \varphi,$$

где  $N = P \times \cos \varphi + m \times \dot{\varphi}^2 \times R$ ;  $P = mg$ ;  $\mu$  – коэффициент трения качения.

Тогда

$$Q_\varphi = \frac{\partial A_\varphi}{\partial \varphi},$$

$$Q_\varphi = \frac{\mu}{r} (mg \cdot \cos \varphi + m \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot R) R - mg \cdot \sin \varphi \cdot R.$$

Преобразуем систему (1), подставляя полученные выражения, и, представив в разрешенном относительно второй производной виде, получим:

$$\begin{cases} \ddot{x}m = Q_x \\ \ddot{\varphi}m = Q_\varphi \end{cases},$$

или

$$\begin{cases} \ddot{x} = g \cdot (\sin \alpha - f \times \cos \alpha) \\ \ddot{\varphi} = \frac{\mu}{r} (g \cdot \cos \varphi + \dot{\varphi}^2 \cdot R) R - g \cdot \sin \varphi \cdot R \end{cases}. \quad (2)$$

Решение нелинейной системы дифференциальных уравнений выполним с помощью пакета MATHCAD [4]. Для этого проведем замену переменных:

$$y_1 = x; \quad y_2 = \dot{x}; \quad y_3 = \varphi; \quad y_4 = \dot{\varphi}.$$

Такая замена переводит систему (2) в нормальную форму и позволяет разрешить данную систему при подстановке исходных данных. Результаты численного интегрирования представлены на рисунках 2 и 3.

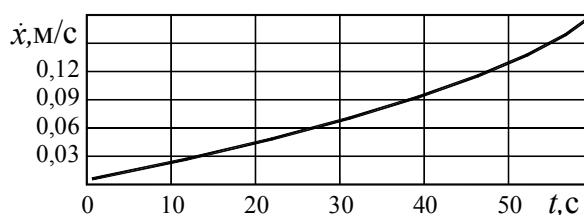


Рисунок 2 График изменения линейной скорости комочка

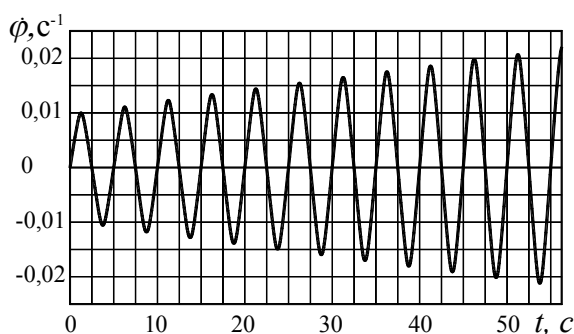


Рисунок 3 График изменения угловой скорости комка

Анализ результатов показывает, что линейная скорость комочка вдоль оси бара-

бана возрастает в сторону разгрузки практически линейно. Угловая скорость комочка имеет колебательный характер.

#### Выводы и направление дальнейших исследований.

Полученная модель позволяет регулировать желаемый режим движения комков в зависимости от условий получения требуемого качества гранул наряду с технологическими параметрами и характеристикой исходного материала, что расширяет возможности управления процессом.

#### Библиографический список

1. Мовчан, В. П. Оценка качества агломерата и окатышей и особенности их использования в доменной плавке [Текст] / В. П. Мовчан // *Металлург. и горноруд. пром-сть*. — 2001. — № 5. — С. 8–11.
2. Режим агломерации при изменении доли концентрата ССПО [Текст] / М. Ф. Гибадулин, В. А. Гостенин, К. В. Сенькин и др. — *Сталь*, 2007. — №2. — С.15–17.
3. Козачишен, В. А. Конусный окомкователь агломерационной шихты [Текст] / В. А. Козачишен, Г. Н. Попов // *Металл и литьё Украины*. — 2009. — № 7–8. — С. 22–25.
4. Краскевич, В. Е. Численные методы в инженерных исследованиях [Текст] / В. Е. Краскевич, К. Х. Зеленский, В. И. Гречко. — К. : Вища шк. Головное изд-во, 1986. — 263 с.

© Козачишен В. А.

© Изюмов Ю. В.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М., д.т.н., проф. ГОУ ВПО им. Даля Гутько Ю. И.

Статья поступила в редакцию 07.11.16.

к.т.н. Козачишен В. А., к.т.н. Изюмов Ю. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### МОДЕЛЬ ПРОЦЕССУ РУХУ ГРУДОЧКИ ШИХТИ В ОГРУДКУВАЧІ БАРАБАННОГО ТИПУ

Наведено алгоритм побудови моделі руху грудочки в барабанному огрудкувачі. Встановлена залежність швидкості грудочки від зовнішніх чинників за реалізації технології огрудкування в барабанному огрудкувачі.

**Ключові слова:** модель, огрудкування, сила тертя, агломераційна шихта, гранулометричний склад.

PhD Kozachishen V. A., PhD Iziumov Yu. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

#### THE MODEL OF BURDEN LUMP MOVING PROCESS IN DRUM-TYPE PELLETIZER

The algorithm for development the model of burden lump moving in drum-type pelletizer is shown. It was found the dependence lump rates from ambient factors at pelletizing in drum-type pelletizer.

**Key words:** model, pelletizing, friction force, sintering mixture, grain fineness.

УДК 622.648.2

к.т.н. Козыряцкий Л. Н.  
(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР),  
к.т.н. Рутковский Ю. А.,  
к.т.н. Чебан В. Г.,  
к.т.н. Рутковский А. Ю.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),  
Жудин П. Е.  
(ЧП «АТЛАС», г. Алчевск, ЛНР)

## К ПРОБЛЕМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ НА РАБОТУ ЭРЛИФТНОГО ГИДРОПОДЪЕМНИКА С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУЙНОГО АППАРАТА ПРИ МАЛЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПОГРУЖЕНИЯХ СМЕСИТЕЛЯ

*Показана целесообразность широкого применения эрлифтных и гидроэлеваторных установок во многих отраслях промышленности. Предложены новые конструктивные решения по созданию эффективных эрлифтных гидроподъемников с элементами струйных аппаратов и дополнительной всасывающей трубой. Рассмотрены проблемы наличия колебаний давления и пульсаций подачи в эрлифте и физические методы их устранения.*

**Ключевые слова:** эрлифт, струйный аппарат, колебания давления, интерференция волн, гидроэлеватор.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Анализ существующих схем и средств водоотлива и очистки от твердого шахтных водосборных емкостей, а также удаления шлама из шламонакопителей, используемых в процессах металлургического производства, или золошлаков из тепловых электростанций показывает, что применение механических средств не позволяет устранить затраты тяжелого ручного труда; они имеют низкую надежность и, как следствие, не могут удовлетворить современным требованиям, предъявляемым к подобного рода устройствам.

Все большее распространение сейчас получает гидравлический способ очистки емкостей, используемых в промышленных производствах, важным достоинством которого является возможность одновременно выполнять одним гидротранспортным агрегатом операции по удалению отложившегося твердого осадка и откачке притока воды, как это имеет место в шахтных условиях.

Из средств гидромеханизированной очистки водосборных емкостей наиболее часто применяются эрлифты и гидроэлеваторы. Однако применение подобных уста-

новок ограничивается рядом факторов, в ряду которых наиболее существенным является необходимость в обеспечении значительного относительного погружения, которое должно быть не менее 0,15.

Востребованное применение эрлифтов и гидроэлеваторов в горнодобывающей, энергетической, металлургической и других отраслях промышленности обусловлено высокой надежностью и простотой, а следовательно, дешевизной изготовления, монтажа, обслуживания и эксплуатации, особенно при транспортировании абразивных гидросмесей.

Особенно следует отметить такие преимущества эрлифтов и гидроэлеваторов по сравнению с насосами (грунтовыми насосами):

а) отсутствие трущихся и вращающихся деталей в их составе;

б) эрлифт и гидроэлеватор представляют собой металлоконструкцию, не требующую применения литья и механической обработки;

в) при транспортировании гидросмесей обеспечивают высокую их консистенцию (до 25-30%, а иногда – до 70% по объему).

Основными недостатками эрлифтных и гидроэлеваторных установок является вы-

сокая энергоемкость рабочего процесса, низкий к.п.д. и преимущественно эмпирическая основа их моделирования.

**Анализ исследований и публикаций.** Существенное расширение областей использования эрлифтов и гидроэлеваторов за последние 70 лет обеспечили научно-исследовательские работы Донецкого национального технического университета [1-4].

Успешный опыт эксплуатации эрлифтов для очистки зумпфов на шахтах Донбасса, а также положительные результаты теоретических и экспериментальных исследований длительное время работающих эрлифтов, гидроэлеваторов, гидрокомпрессоров и других способов гидромеханизации позволили разработать основы проектирования и выработать практические рекомендации по использованию этих механизмов в различных отраслях промышленности [5, 6].

**Постановка задачи.** Цель работы – разработать конструкцию эрлифтов и гидроэлеваторов, обеспечивающую надежную и устойчивую работу в самых неблагоприятных условиях. К таким условиям должны быть отнесены:

- ограниченная глубина затопливаемой части (не более 3м), когда значение относительного погружения эрлифта составляет менее  $\alpha < 0,15$ ;

- в случае необходимости практически полное (насухо) удаление гидросмеси из емкости;

- подающая часть гидроподъемника должна обеспечивать прохождение в нагнетательной трубе всей поступающей в емкость осевшей массы с кусками твердого материала наибольшей крупности;

- наличие подачи рабочей жидкости (воздуха – для эрлифта, воды – для гидроэлеватора), обеспечивающей в подводящей трубе к смесителю транспортную скорость для гидросмеси (не менее 1,4 м/с) [4].

**Изложение материала и результаты.** В предлагаемой конструкции смесителя эрлифта использовано явление, названное в

технической литературе принципом Вентури: при увеличении скорости потока давление уменьшается, и наоборот, давление увеличивается, если величина скорости уменьшается.

Эрлифтная установка (см. рис. 1), оборудованная смесителем с элементами струйного аппарата, содержит: подъемный трубопровод 7; воздухопровод 8, соединенный с цилиндрическим коллектором 2, на котором установлен конический сходящийся насадок 4 с основанием, выполненным в виде решетки 3; подводящую трубу 1, расположенную соосно с цилиндрической камерой смещения 5, камера которой содержит начальный участок 9 и переходной участок 6.

Выходное сечение подводящей трубы 1 расположено в одной плоскости с местом перехода конического сходящегося насадка 4 в начальный участок 9 камеры смещения и образует с ним кольцевую щель для впуска сжатого воздуха в камеру смещения.

Предложенная конструкция смесителя способствует упорядочению структуры и созданию рационального поля скоростей потока сжатого воздуха перед входом в кольцевую щель, позволяет использовать кинетическую энергию сжатого воздуха в кольцевой щели. Подсчитано, что при скоростях воздуха в кольцевой щели порядка 270-280 м/с у выходного сечения подводящей трубы 1 создается разрежение, в результате чего под действием возросшей разности давления у входа в подводящую трубу и на выходе из нее повышается подача эрлифтной установки в 1,4...2,7 раза. Благодаря высоким скоростям потока сжатого воздуха в основном конструктивном элементе смесителя – кольцевой щели – устраняется пульсирующий режим работы эрлифтной установки, вследствие чего в 2...3 раза снижается размах колебаний давления в подъемном трубопроводе, камере смещения в воздухопроводе, что повышает эксплуатационную надежность установки.

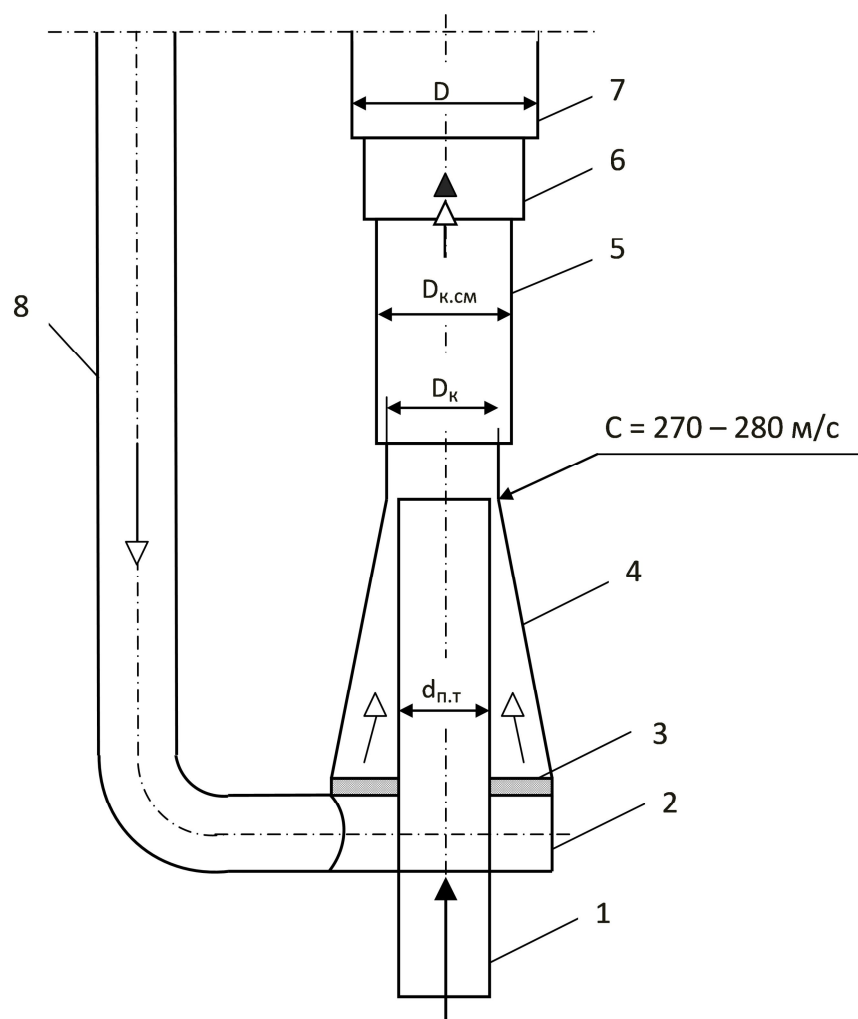


Рисунок 1 Схема смесителя с элементами струйного аппарата

Явление колебаний давления в подъемном трубопроводе и пульсирующей подаче еще недостаточно изучено. Сложность процесса и многообразие возмущающих факторов не дают пока возможности решения задачи полного гашения колебаний в эрлифте.

Наблюдениями установлено, что колебания расхода и давления имеют место по всей системе эрлифтной установки: в подводящей трубе, смесителе, подъемной трубе, воздухоотделителе и воздухопроводе. Интенсивность колебательных процессов на отдельных режимах работы эрлифта может быть значительной. Распространяясь по системе, колебания оказывают вредное влияние на надежность крепления эрлифта, работу всасывающего устройст-

ва, воздухоотделителя, компрессоров и устройств регулирования. Кроме того, колебания приводят к увеличению гидравлических потерь и, следовательно, снижают к.п.д. эрлифтной установки. Поэтому для повышения эффективности работы эрлифта необходимо стремиться к уменьшению интенсивности колебательных процессов. В особенности это касается смесителя, где встречаются и перемешиваются среды разной плотности и упругости.

Экспериментально установлено, что интенсивность и характер колебаний в эрлифтной установке зависит от ее параметров и рабочего режима. Как показали исследования [5], при работе эрлифта на восходящей ветви расходной характеристики на режимах, соответствующих ма-

лым подачам, колебания имеют релаксационный (резко изменяющийся) характер. С увеличением подачи они переходят в «томсоновские» колебания (близкие к гармоническим), а с дальнейшим ростом подачи исчезают совсем [5].

Поэтому нужны дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования физических процессов, в результате которых возникают наблюдаемые при эксплуатации эрлифтов нежелательные четочные режимы работы.

Одним из вариантов частичного гашения колебаний в эрлифте является использование принципа наложения колеблющихся в противофазах смешивающихся потоков [2].

Для этой цели предложено подключить к смесителю параллельно с подводящей трубой 1 (рис. 2) дополнительную трубу 5, длина которой  $\ell$  больше длины  $\ell_1$  подводящей трубы.

Экспериментально установлено оптимальное соотношение длин  $\ell/\ell_1$  (рис. 2), находящееся в пределах 1...2, при этом уменьшается амплитуда колебаний давления в смесителе на всех режимах работы. При том же расходе сжатого воздуха подача эрлифтов с дополнительной трубой на 7...15% больше, чем у эрлифтов без нее.

#### Выводы и направления дальнейших исследований.

Эрлифтные установки, оборудованные смесителем с элементами струйного аппарата и дополнительной трубой успешно могут применяться для гидромеханизированной очистки зумпфов скиповых стволов и водозаборных колодцев насоса главного водоотлива, откачки притока воды из зумпфов клетевых стволов при геометрических погружениях смесителя менее 3 м и значениях относительных погружений  $\alpha < 0,15$ .

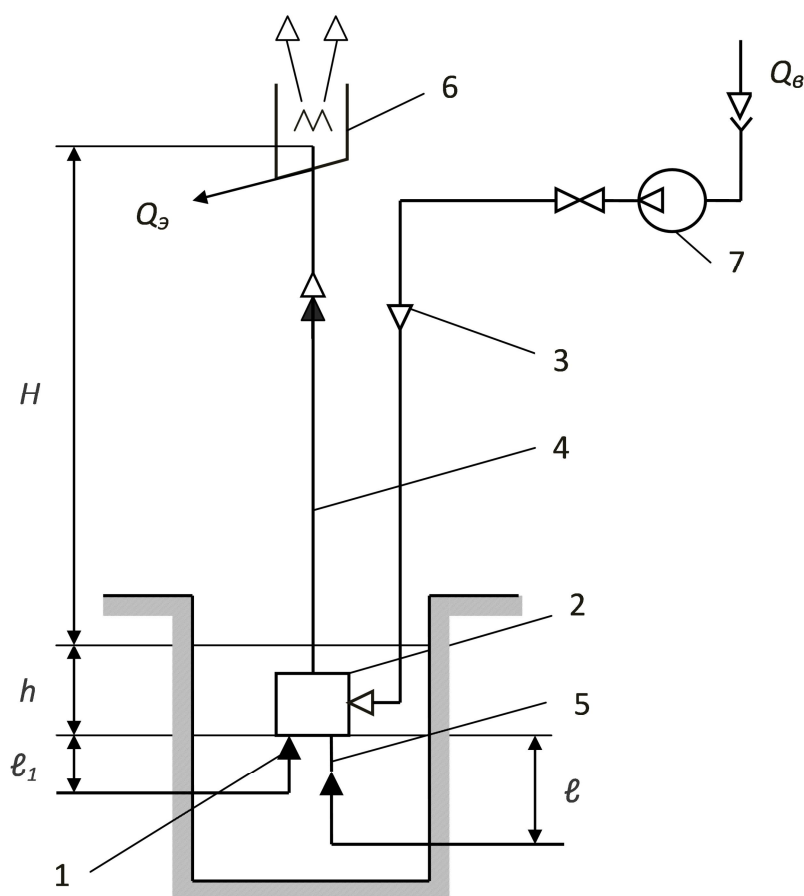


Рисунок 2 Схема эрлифта с дополнительной подводящей трубой

Они внедрены на ряде шахт производственных объединений «Донецкуголь», «Артемуголь». Однако на шахтах Луганского региона они пока отсутствуют, хотя для их изготовления не требуется капитальных затрат. Они могут найти применение на металлургических предприятиях для опорожнения шлаконакопителей и очистки других гидротехнических сооружений удаления шлака на ТЭЦ и в иных промышленных производствах.

Использование взаимодействия волновых процессов, происходящих в подводящей и дополнительных трубах как нелинейных звеньях установки для их взаимной динамической компенсации при наложении в смесителе, и создание таким образом в камере смесителя наиболее стабильных условий по давлению является перспективным направлением в совершенствовании эрлифтов.

### Библиографический список

1. Энциклопедия эрлифтов [Текст] / Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пащенко, А. П. Кононенко. — Москва : «Информ СвязьИздат», 1995. — 589 с.
2. Козыряцкий, Л. Н. Эрлифты и гидроэлеваторы в горной промышленности [Текст] / Л. Н. Козыряцкий, В. М. Моргунов, В. М. Яковлев, О. А. Геммерлинг. — Донецк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2014. — 173 с.
3. Логвинов, Н. Г. Самовозбуждающиеся колебания в воздушных подъемниках [Текст] / Н. Г. Логвинов // Разработка месторождений полезных ископаемых. — Киев : Техника, 1973. — Вып. 31. — С. 59–65.
4. Гейер, В. Г. Эрлифтный зумпфовый водоотлив с малой относительной глубиной погружения [Текст] / В. Г. Гейер // Уголь Украины. — 1978. — № 9. — С. 35–37.
5. Усков, Е. В. Экспериментальные исследования колебательных процессов в секции эрлифта в кн. [Текст] / Е. В. Усков // Разработка месторождений полезных ископаемых. — Киев : Техника, 1977. — Вып. 48. — С. 42–46.
6. Малеев, В. Б. Специальные средства водоотлива и гидромеханизированной очистки шахтных водосборных емкостей [Текст] / В. Б. Малеев, Е. И. Данилов, В. М. Яковлев. — Донецк : ДПИ, 1986. — 36 с.
7. Методические рекомендации по применению средств механизации очистки шахтных водосборных емкостей. — ЦБНТИ Минуглепрома Украинской ССР, 1983. — 49 с.

© Козыряцкий Л. Н.  
 © Рутковский Ю. А.  
 © Чебан В. Г.  
 © Рутковский А. Ю.  
 © Жудин П. Е.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
 главным конструктором ЦЛАМ ПАО «АМК» Малеванным В.В.**

Статья поступила в редакцию 18.11.16.

**к.т.н. Козыряцкий Л. М.** (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР), **к.т.н. Рутковский Ю. О., к.т.н. Чебан В. Г., к.т.н. Рутковский О. Ю.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **Жудин П. Є.** (ПП «АТЛАС», м. Алчевськ, ЛНР)

### ДО ПРОБЛЕМИ ВИНИКНЕННЯ ТА ВПЛИВУ КОЛИВАНЬ ТИСКУ НА РОБОТУ ЕРЛІФТНОГО ГІДРОПІДЙОМНИКА З ЕЛЕМЕНТАМИ СТРУМИННОГО АПАРАТУ ПРИ МАЛИХ ВІДНОСНИХ ЗАНУРЕННЯХ ЗМІШУВАЧА

Показана доцільність широкого застосування ерліфтних та гідроелеваторних установок в багатьох галузях промисловості. Запропоновані нові конструктивні рішення щодо створення ефективних ерліфтних гідропідйомників з елементами струминних апаратів та додатковою

всмоктувальною трубою. Розглянуті проблеми наявності коливань тиску та пульсацій подачі в ерліфті та фізичні методи їх усунення.

**Ключові слова:** ерліфт, струминний апарат, коливання тиску, інтерференція хвиль, гідроелеватор.

**PhD Kozyriatskiy L. N. (DonNTU, Donetsk, DPR), PhD Rutkovskiy Yu. A., PhD Cheban V. G., PhD Rurkovskiy A. Yu. (DonSTU, Alchevsk, LPR), Zhudin P.E. (SP «ATLAS», Alchevsk, LPR)**

**THE PROBLEM OF OCCURRENCE AND INFLUENCE OF PRESSURE FLUCTUATIONS ON AIRLIFT HYDRAULIC JACK OPERATION WITH ELEMENTS OF JET DEVICE AT SMALL IMMERSION RATIO OF A MIXER**

*The expediency of wide application of airlift hydro-elevating machines in many industries is shown. There have been proposed new design solutions to create effective airlift hydraulic jacks with elements of jet devices and additional suction pipe. The problems of pressure fluctuations occurrence and supply fluctuations in the airlift and physical methods of their compensation have been studied.*

**Key words:** airlift, jet device, pressure fluctuations, wave interference, hydraulic elevator.

УДК 620.171.2:519.2

к.т.н. Долголаптев В. М.,  
Козачишена Е. С.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛА

*Приведены результаты обработки механических испытаний на изгиб образцов витринного неполированного стекла при помощи методов математической статистики.*

**Ключевые слова:** нормальное распределение, среднее квадратичное отклонение, дисперсный анализ, критерий Кочрена, витринное неполированное стекло.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одной из важнейших задач при проведении экспериментальных исследований является правильная оценка результатов испытаний. Например, проводя прочностные испытания серий образцов одного и того же материала в различных условиях (отличающиеся внешней средой, влажностью, температурой и т. д.) и их первичную статистическую обработку, исследователь неизбежно получит для каждой серии свое среднее значение прочности, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации. Чем вызваны эти отличия: действительно различными условиями испытания или же это просто случайность? Ответ на данный вопрос дают методы математической статистики, описанные в классических работах, таких как [1, 2].

Одним из широко используемых в современном строительстве материалов является витринное стекло. Помимо эстетических качеств, оно должно обладать достаточной прочностью как в воздушно-сухих условиях, так и при воздействии агрессивных сред (например, влаги во время дождя либо загрязнений от промышленных отходов).

Известно, что прочность стекла сравнительно мало меняется от его химического состава. Она преимущественно зависит от способа и условий формования стекла, характера его термической и механической обработки, от массивности (объема, толщи-

ны), размеров, геометрической формы и состояния поверхности испытываемых образцов (стеклоизделий), от условий окружающей среды (температура, влажность и т. п.) [3, 4, 5].

Представленные в данной работе результаты позволяют определить прочность образцов неполированного витринного стекла Константиновского стекольного завода по ГОСТ 7380-77 "Стекло витринное неполированное. Технические условия" (далее – стекло), а также правильно оценить их реальные прочностные характеристики.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является оценка при помощи методов математической статистики влияния внешних условий на прочностные характеристики стекла.

### Изложение материала и его результаты.

Для исследования были изготовлены образцы из стекла в форме балочек размерами 10×10×120 мм. Испытания проводились по схеме трехточечного изгиба при расстоянии между опорами 100 мм в закрытом помещении при температуре 20°C. Все образцы были разделены на 3 группы по 10 образцов в каждой. Первая группа образцов испытывалась в воздушно-сухих условиях, образцы второй группы перед испытанием выдерживались 24 часа в пресной воде температурой 20°C, образцы третьей группы перед испытанием выдерживались 24 часа в машинном масле температурой 20°C.

Результаты испытаний, а также средние значения прочности сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты испытания образцов на изгиб в различных средах

Номер образца $i$	Воздух	Вода	Масло
	$x_{1i}$ , МПа	$x_{2i}$ , МПа	$x_{3i}$ , МПа
1	42,0	44,8	43,5
2	42,1	46,5	45,0
3	46,5	47,8	48,6
4	48,9	48,5	56,5
5	53,0	50,2	60,5
6	57,8	53,4	65,4
7	58,7	62,3	65,3
8	60,5	64,8	70,7
9	62,0	65,5	75,5
10	62,5	67,2	76,0
Среднее значение $\bar{x}_j$	53,4	55,1	60,7
Среднеквадратичное отклонение $s_j$	8,03	8,85	12,03

Необходимо проверить, действительно ли различие результатов испытаний вызвано внешними факторами (воздух, вода, масло). Равенство (однородность) средних значений, т. е. незначимость влияния условий испытания на среднее значение характеристик механических свойств, оценивают с помощью дисперсионного анализа результатов испытаний. В его основе лежит предположение о нормальности закона распределения механических свойств и однородности дисперсий. Предположение о возможности использования нормального закона распределения для стекла проверено в работе [6].

Однородность ряда дисперсий в случае равенства числа образцов во всех партиях оценивают с помощью критерия Кочрена (Кохрана), для чего вычисляют соотношение

$$G_{\max} = \frac{s_{\max}^2}{\sum_{i=1}^m s_i^2},$$

где  $s_{\max}^2$  – наибольшая выборочная дисперсия;  $m$  – число партий (в нашем случае – 3: воздух, вода, масло).

Далее значение  $G_{\max}$  сравнивают с критическим значением  $G_{\alpha}$ , которое определяют согласно таблице X приложение [2] либо таблице VIII [1]. Если выполняется неравенство  $G_{\max} \leq G_{\alpha}$ , то гипотеза об однородности не отвергается. Для нашего случая  $G_{0,05} = 0,6167$ .

Вычисляем

$$G_{\max} = \frac{12,03^2}{8,03^2 + 8,85^2 + 12,03^2} = 0,503,$$

т. е. меньше чем  $G_{0,05} = 0,6167$ . Таким образом, условия испытания не оказывают существенного влияния на дисперсию прочности при изгибе данного вида стекла.

Так как гипотеза об однородности ряда дисперсий подтвердилась, то переходим к однофакторному дисперсионному анализу, поскольку у нас изменяется только один фактор – условия испытаний (воздух, вода, масло). Схему однофакторного дисперсионного анализа согласно [2] приведем в таблице 2.

Исходя из гипотезы о незначимости влияния условий испытания на среднее значение прочности, определяем генеральное среднее  $\bar{x}$  по формуле согласно [2]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i n_i}{\sum_{i=1}^m n_i},$$

где  $m$  – общее число партий;  $\bar{x}_i$  – оценка среднего значения характеристик механических свойств для  $i$ -той партии;  $n_i$  – число образцов в  $i$ -той партии.

Вычисляем  $\bar{x}_i$  для нашего случая:

$$\bar{x}_i = \frac{(53,4 + 55,1 + 60,7) \times 10}{(10 + 10 + 10)} = 56,4 \text{ МПа}.$$

Тогда сумма квадратов между партиями  $Q_1$  составит:

$$Q_1 = 10 \times (53,4 - 56,4)^2 + 10 \times (55,1 - 56,4)^2 + 10 \times (60,7 - 56,4)^2 = 291,8.$$

Расчет суммы квадратов внутри партии сведем в таблицу 3. Окончательные результаты расчета сведены в таблицу 4.

Проверку гипотезы о равенстве (однородности) средних значений прочности проверяют с помощью критерия  $F$ . Если дисперсионное отношение  $F = s_1^2 / s_2^2$  окажется меньше табличного значения  $F_{1-\alpha}$

(табл. VIII, [2]), то исследуемые факторы не оказывают значимого влияния на механические свойства материала. В этом случае все рассматриваемые результаты испытаний принадлежат одной генеральной совокупности, распределенной нормально.

В нашем случае дисперсионное отношение  $F = 145,9 / 95,83 = 1,52$ , что существенно меньше табличных значений  $F_{0,95} = 3,36$  и  $F_{0,99} = 5,49$ , определенных при  $k_1 = 2$  и  $k_2 = 27$  согласно таблице VIII [2].

Таблица 2

Схема однофакторного дисперсионного анализа согласно [2]

Компонента дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат (дисперсия)
Между партиями	$Q_1 = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$k_1 = m - 1$	$s_1^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$
Внутри партии (остаточная)	$Q_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$k_2 = \sum_{i=1}^m n_i - m$	$s_2^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^m n_i - m} \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$
Полная (общая)	$Q = Q_1 + Q_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$	$k = \sum_{i=1}^m n_i - 1$	$s^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^m n_i - 1} \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2$

Таблица 3

Расчет суммы квадратов внутри испытанных партий образцов

Номер образца $i$	Воздух			Вода			Масло		
	$x_i$ , МПа	$(x_{1i} - \bar{x}_1)$	$(x_{1i} - \bar{x}_1)^2$	$x_{2i}$ , МПа	$(x_{2i} - \bar{x}_2)$	$(x_{2i} - \bar{x}_2)^2$	$x_{3i}$ , МПа	$(x_{3i} - \bar{x}_3)$	$(x_{3i} - \bar{x}_3)^2$
1	42,0	-11,4	129,96	44,8	-10,3	106,09	43,5	-17,2	295,84
2	42,1	-11,3	127,69	46,5	-8,6	73,96	45,0	-15,7	246,49
3	46,5	-6,9	47,61	47,8	-7,3	53,29	48,6	-12,1	146,41
4	48,9	-4,5	20,25	48,5	-6,6	43,56	56,5	-4,2	17,64
5	53,0	-0,4	0,16	50,2	-4,9	24,01	60,5	-0,2	0,04
6	57,8	4,4	19,36	53,4	-1,7	2,89	65,4	4,7	22,09
7	58,7	5,3	28,09	62,3	7,2	51,84	65,3	4,6	21,16
8	60,5	7,1	50,41	64,8	9,7	94,09	70,7	10,0	100,00
9	62,0	8,6	73,96	65,5	10,4	108,16	75,5	14,8	219,04
10	62,5	9,1	82,81	67,2	12,1	146,41	76,0	15,3	234,09
Ср. зн. $\bar{x}_j$	53,4			55,1			60,7		
Сумма квадратов			580,30			704,30			1302,80

Таблица 4

Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Компонент дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат (дисперсия)
Между партиями	291,8	$3-1=2$	$291,8/2=145,90$
Внутри партии	$580,3+704,3+1302,8=2587,4$	$(10-1)+(10-1)+(10-1) = 27$	$2587,4/27=95,83$
Полная	$291,8+2587,4=2879,34$	$2+27=29$	

Таким образом, условия испытаний не оказали существенного влияния на среднее значение прочности исследуемых образцов. Параметры данной генеральной совокупности могут быть определены также методами математической статистики (см. формулы 3.56 и 3.57 источника [2]).

#### Выводы и направление дальнейших исследований

Статистическая обработка результатов испытаний неполированного витринного стекла Константиновского стекольного завода по ГОСТ 7380-77 "Стекло витринное неполированное. Технические условия" показала, что его прочность не зависит от внешней среды. В то же время известно, что в ряде случаев водная среда снижает прочность стекла за счет раскли-

нивающего эффекта. Отсутствие снижения прочности в данном случае, возможно, объясняется тем, что в эксперименте использовалось новое стекло, и воздействие водной среды было однократным. Поскольку прочность стекла в решающей мере зависит от состояния поверхности, то с течением времени вполне вероятно нарастание отрицательного воздействия влаги на прочность. Также представляет интерес влияние замерзшей влаги на поверхности витринного стекла (например, мороз после дождя или оттепели) на его прочность. Изучение долговременного влияния внешних факторов на прочность витринного стекла может быть направлением дальнейших исследований.

#### Библиографический список

1. Смирнов, Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. — М. : Наука, 1965. — 511 с.
2. Степнов, М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний [Текст] : справочник / М. Н. Степнов. — М. : Машиностроение, 1985. — 232 с.
3. Бартнев, Г. М. Сверхпрочные и высокопрочные неорганические стекла [Текст] / Г. М. Бартнев. — М. : Стройиздат, 1974. — 240 с.
4. Бартнев, Г. М. Строение и механические свойства неорганических стекол [Текст] / Г. М. Бартнев. — М. : Изд-во лит-ры по стр-ву, 1966. — 216 с.
5. Пух, В. П. Прочность и разрушение стекла [Текст] / В. П. Пух. — Л. : Наука, 1973. — 155 с.
6. Долголаптев, В. М. Определение крайних значений прочности при обработке результатов механических испытаний стекла [Текст] / В. М. Долголаптев, Е. С. Козачишена // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2015. — № 45. — С. 121–123.

© Долголаптев В. М.

© Козачишена Е. С.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М.,  
д.т.н., проф. ГОУ ВПО им. Даля Гутько Ю. И.*

*Статья поступила в редакцию 07.11.16.*

**к.т.н. Долголаптев В. М., Козачишена О. С., (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

**ОЦІНКА ВПЛИВУ УМОВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ  
МІЦНОСТІ СКЛА**

*Приведено результати обробки механічних випробувань на згинання зразків вітринного непо-  
лірованого скла за допомогою методів математичної статистики.*

**Ключові слова:** нормальне розподілення, середньоквадратичне відхилення, дисперсійний ана-  
ліз, критерій Кочрена, вітринне неpolіроване скло.

**PhD Dolgolaptev V. M., Kozachishena E. S. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

**ESTIMATION THE INFLUENCE OF AMBIENT CONDITIONS ON GLASS STRENGTH  
PROPERTIES**

*Mathematical statistics methods have been used for mechanical bending tests on plate cathedral  
glass samples.*

**Key words:** normal distribution, root-mean-square deviation, dispersive analysis, Kochren criterion,  
plate cathedral glass.

УДК 621.91(076)

к.т.н. Мосягин Н. А.,  
к.т.н. Чекалов А. Н.,  
Ткачева Е. С.,  
Мосягин Н. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С ЗУБЧАТЫМИ ВЕНЦАМИ НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ АВТОМАТАХ

*Рассмотрена возможность выполнения обработки зубчатых венцов в автоматическом цикле работы токарно-револьверного автомата (ТРА). Предложены схемы дополнительных устройств к ТРА для обработки червячных и узких зубчатых венцов методом радиального врезания, а также для нарезания широких венцов с радиальным врезанием и осевой подачей. Дана оценка эффективности методов зубонарезания.*

**Ключевые слова:** зубообработка, мелкомодульные зубчатые колеса, дополнительное приспособление, устройство, кинематическая схема.

Дополнительные устройства и приспособления позволяют существенно расширить технологические возможности токарно-револьверных автоматов.

При помощи дополнительных устройств можно производить фрезерование резьб и пазов, обточку многогранников, обрабатывать конические поверхности, поверхности за буртом и многое другое. Это позволяет обрабатывать более сложные детали, обеспечить концентрацию на одном рабочем месте большего количества операций.

Однако даже такое большое разнообразие устройств не позволяет полностью охватить все возможные варианты выполняемых операций механической обработки на ТРА, поэтому вопрос о разработке новых приспособлений для данного типа станков остается актуальным.

Одним из перспективных направлений является разработка устройств, позволяющих обеспечить нарезание зубчатых венцов в цикле работы ТРА.

Изготовление деталей, имеющих в своей конструкции зубчатые венцы, часто производится на ТРА, но обработка зубьев производится на специальных зуборезных станках. Совмещение при обработке на ТРА токарной и зуборезной операций позволит: повысить производительность и снизить себестоимость механической обработки за счет уменьшения вспомогательного времени; сократить требуемое оборудование и

рабочих; снизить затраты на изготовление за счет исключения необходимости специального зуборезного оборудования и приспособлений для установки заготовок на зуборезных станках; повысить точность изделия, так как исключается смена баз при переустановке и создается возможность нарезания зубьев на более жесткой заготовке до окончательной токарной обработки в оптимальной последовательности.

Имеются сведения о зубофрезерных приспособлениях для автоматов продольного точения, на которых возможна обработка только достаточно простых деталей. Аналогичные приспособления, предназначенные для ТРА, имеют сложную конструкцию, малую жесткость вследствие большого количества податливых соединений и низкую точность из-за дополнительных погрешностей, вызванных наличием шарнирно-телескопического вала [1].

Мелкомодульные зубчатые колеса, в том числе трибы, получили широкое распространение в приборостроении, различных точных механизмах [2].

Основные параметры и размеры прямо-зубых и косозубых зубчатых колес для передач внешнего эвольвентного зацепления с модулями 0,15...0,8 мм регламентируются ГОСТ 13733-77 (табл. 1). Соотношение ширины венца и модуля рекомендуется в диапазоне 2...15.

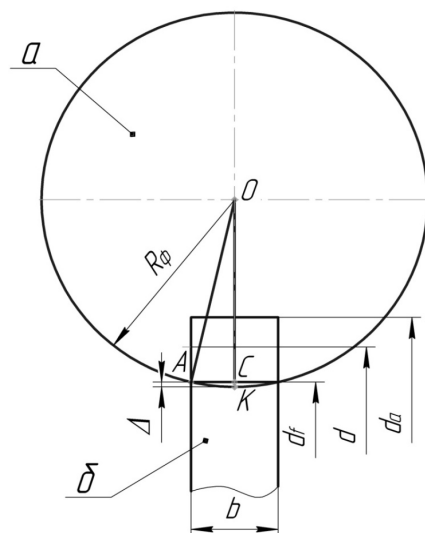
Таблица 1

Зависимость ширины венца  $b$  от модуля  $m$ 

Модуль, $m$	Регламентируемая ширина венца $b/m$
0,15	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0;
0,20	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0;
0,25	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0;
0,30	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0
0,40	1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0
0,50	1,0; 1,2; 1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0
0,60	1,2; 1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0; 12,0
0,70	1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0; 12,0
0,80	1,5; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0; 12,0

Согласно рекомендациям, наиболее эффективным при нарезании мелко модульных зубчатых колес является зубофрезерование червячной модульной фрезой.

При фрезеровании червячной фрезой зубчатых колес с небольшой шириной венца методом обкатки нарезание зубьев возможно методом врезания без осевой подачи фрезы относительно заготовки. Это существенно сокращает время, упрощает цикл обработки и конструкцию приспособления. Наибольшая допустимая ширина венца колеса может быть найдена из схемы на рисунке 1.

Рисунок 1 Схема расчета допустимой ширины  $b$  зубчатого венца

Как видно из рисунка 1, допустимая ширина  $b$  зубчатого венца зависит от диа-

метра  $D_\phi$  (радиуса  $R_\phi$ ) фрезы и погрешности  $\Delta$  профиля впадины зуба колеса:

$$b = 2\sqrt{R_\phi^2 + (R_\phi - \Delta)^2}.$$

В таблице 2 показаны предельные (наибольшие допустимые) значения ширины зубчатого венца при обработке стандартными мелко модульными червячными фрезами.

Как видно из таблицы 2, для большей части колес полученные значения ширины зубчатых венцов позволяют ограничиться их обработкой только за счет подачи на врезание без осуществления осевого перемещения.

Применение схемы обработки только за счет радиального врезания позволит упростить конструкцию приспособления, повысить его жесткость и точность, производительность зубообработки, обеспечит возможность встраивания процесса зубофрезерования в автоматический цикл работы ТРА, врезание без осуществления осевого перемещения.

Устройство может быть выполнено на базе типовой конструкции привода дополнительных устройств ТРА, который устанавливается на задней площадке станины станка. Принципиальная схема приспособления, предназначенного для нарезания цилиндрических и червячных колес методом радиальной подачи, изображена на рисунке 2.

Таблица 2

Зависимость ширины венца  $b$  от модуля  $m$  и диаметра фрезы при полной высоте зуба  $h = 2,25m$  (погрешность профиля впадины  $\Delta = 0,25 m$ )

№	Фреза		Предельная расчетная ширина венца $b$		
	ГОСТ	диаметр фрезы	Модуль, $m$	$\Delta = 0,25 m$	$b = 2\sqrt{R_\phi^2 + (R_\phi - \Delta)^2}$
1	9324-80	63	1,5	0,375	9,6
2			2	0,5	11,2
3		50	1	0,25	7
4			1,375	0,34375	8,3
5	10331-81	40	0,5	0,125	4,5
6			0,9	0,225	6
7		32	0,15	0,0375	2,2
8			0,9	0,005	5,4
9		25	0,15	0,0375	2
10			0,5	0,125	3,5

При наладке необходимо обеспечить требуемый угол поворота фрезерной головки и обеспечить согласованное вращение обрабатываемой заготовки и фрезы из условия:

$$1 \text{ об. загот.} \times i_n \times i_x \times i_v = (Z/K) \text{ об. фрезы,}$$

где  $i_n$  – передаточные отношения всех постоянных передач;

$i_x$  – передаточное отношение гитары обката;

$i_v$  – передаточное отношение гитары скорости резания;

$Z$  и  $K$  – соответственно число зубьев колеса и заходов фрезы.

Приспособление устанавливается на площадку, предусмотренную для привода дополнительных устройств, а зубофрезерное устройство располагается на заднем суппорте.

Приспособление позволяет обеспечить согласованное вращение шпинделя изделия и инструмента с червячной модульной фрезой, которая устанавливается в шпинделе зубофрезерного устройства.

Движение от электродвигателя 1 через ременную передачу 2 передается на конические колеса 3 и 4, откуда по одной ветви попадает на гитару обката  $i_x$ , и, при включении двухсторонней муфты  $M$  влево, через червя 5 и червячное колесо 6 вращение поступает на шпиндель. При этом связь с коробкой скоростей ТРА разрывается.

По второй ветви вращение подается на гитару скорости резания  $i_v$ , откуда, через вал 7 идет на конические шестерни 8 и 9, расположенные в неподвижной стойке. Далее движение передается через вал 10 на конические шестерни 11 и 12, расположенные в корпусе поперечной каретки (ПК), и через передачу  $i_o$  на шпиндель 13 с закрепленной на нем червячной фрезой 14. Соединение вала 10 и шестерни 11 является подвижным в осевом направлении. Это позволяет каретке ПК двигаться в радиальном относительно обрабатываемой заготовки направлении.

Для установки требуемого угла наклона фрезы предусмотрена возможность поворота фрезерной головки вокруг оси вала 10.

Радиальное движение ПК осуществляется при помощи расположенного на распределительном валу станка кулачка. Такое решение позволяет встраивать операцию зубофрезерования в непрерывный цикл работы станка и обеспечить требуемую согласованную последовательность и величину перемещений рабочего инструмента (червячной фрезы).

При соответствующей наладке приспособление позволяет производить нарезание червячных модульных зубчатых колес методом радиального врезания.

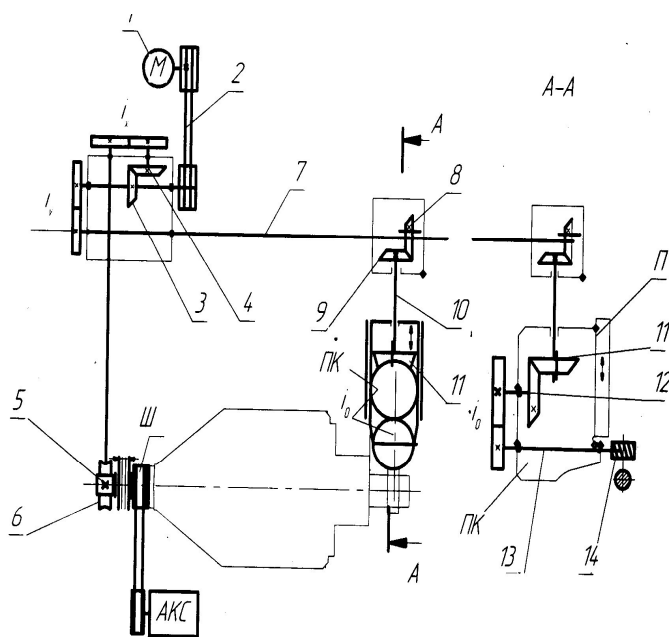


Рисунок 2 Кинематическая схема зубофрезерного устройства

Для обработки зубьев колес с широким венцом возникает необходимость применения радиального врезания и осевой подачи.

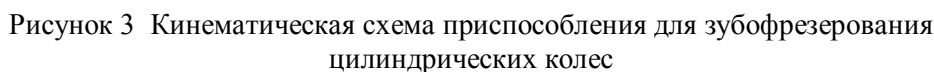
На рисунке 3 показана кинематическая схема зубофрезерного приспособления, предназначенного для нарезания цилиндрических зубчатых колес с осевой подачей, а также червячных колес методом радиального врезания.

Как видно из рисунка, движение от электродвигателя 1 через конические колеса 2 и 3, гитары скорости резания  $i_v$ , конические шестерни 4 и 5 подается на выходной вал 6. Второй выходной вал 7 передает движение от гитары обката  $i_x$  на червяк 8 и червячное колесо 9, которое установлено на шпинделе станка. При включении шкив «Ш», обеспечивающий вращение шпинделя станка от его коробки скоростей, отключается, а червячное колесо 9 соединяется со шпинделем и обеспечивает его вращение от электродвигателя 1.

Входной вал 6 передает движение на конические шестерни 11 и 12, расположенные в неподвижной стойке 13. Далее дви-

жение передается через вал 14 на конические шестерни 18 и 19, расположенные в корпусе поперечной каретки 16. Соединение вала 14 и шестерни 18 является подвижным в осевом направлении, что позволяет каретке 16 двигаться в радиальном направлении относительно обрабатываемой заготовки станка, операция зубофрезерования встраивается в автоматический цикл. По команде муфта М1 соединяет червячное колесо 9 со шпинделем станка и отключает шкив Ш и передачу движения на шпиндель станка от автоматической коробки скоростей (АКС). От двигателя 1 движение идет как на шпиндель станка с заготовкой, так и на шпиндель с червячной фрезой, обеспечивая за счет настройки гитар их согласованное движение (обкат). Предусмотрена возможность поворота фрезерной головки 30.

Для обеспечения возможности перемещения инструмента, как в поперечном, так и в продольном направлении предусмотрена расположенная на направляющих каретки 16 продольная каретка 17, несущая шпиндель с инструментом.



Приспособление устанавливается на задней площадке станины станка, а зубофрезерная головка – на заднем поперечном суппорте. В соответствии с параметрами обрабатываемого зубчатого колеса и расчетным значением скорости резания производится настройка гитары скорости  $i_x$  в последовательности, предусмотренной при наладке.

После нарезания зубьев фрезерный суппорт отводится в исходное положение, а муфта М разрывает связь с червячным колесом 9, соединяет шкив Ш со шпинделем станка, обеспечивая его вращение от АКС и продолжение цикла работы станка.

Поперечное (радиальное) движение П1 поперечной каретки 16 осуществляется при помощи расположенного на распределительном валу станка кулачка К1, а продольное (осевое) перемещение фрезерного

(инструментального) суппорта 17 – от цилиндрического кулачка К2, расположенного на том же распределительном валу (РВ). Такое решение позволяет встраивать операцию зубофрезерования в непрерывный цикл работы станка, обеспечить требуемую согласованную последовательность и величину перемещений рабочего инструмента (червячной фрезы) относительно заготовки.

### Библиографический список

1. Бараболя, С. Я. Специальные токарно-револьверные автоматы [Текст] : справочник конструктора-приборостроителя / С. Я. Бараболя, Ч. Я. Лев, Р. А. Астафьев // Технология и организация производства. — 1981. — С. 14–16.
2. Детали и механизмы приборов [Текст] / В. Л. Соломахо, Р. И. Томилин, Б. В. Цитович, Л. Г. Юдовин. — Минск : Вышэйшая шк., 1990. — 440 с.

© Мосягин Н. А.

© Чекалов А. Н.

© Ткачева Е. С.

© Мосягин Н. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. ПГМ ДонГТУ Левченко Э. П., д.т.н., проф., зав. каф. ТМ ДонНТУ Михайловым А. Н.*

Статья поступила в редакцию 24.10.16.

к.т.н. Мосягин М. О., к.т.н. Чекалов О. М., Ткачова О. С., Мосягин М. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

### ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗУБЧАСТИМИ ВІНЦЯМИ НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНИХ АВТОМАТАХ

*Розглянута можливість виконання обробки зубчастих вінців в автоматичному циклі роботи токарно-револьверного автомата (ТРА). Запропоновані схеми додаткових пристроїв до ТРА для обробки черв'ячних і вузьких зубчастих вінців методом радіального урізування, а також для нарізування широких вінців з радіальним урізуванням і осьовим поданням. Дана оцінка ефективності методів зубонарізання.*

**Ключові слова:** зубообробка, дрібномодульні зубчасті колеса, додаткове пристосування, пристрій, кінематична схема.

PhD in Engineering Mosiagin N. A., PhD in Engineering Chekalov A. N., Tkacheva E. S., Mosiagin N. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

### TOOTHED PARTS CUTTING WITH AUTOMATIC TURRET MACHINES

*The possibility to perform toothed parts cutting with automatic turret machine (ATM) in automatic cycle was considered. The designs of optional devices to ATM have been proposed for worm and narrow tooth radial plunge-cutting as well as for wide tooth radial plunge-cutting and axial feed. The estimation of efficiency of toothing has been given.*

**Key words:** gear treatment, fine-module toothed wheels, optional device, device, kinematic scheme.

УДК 621.22:629.349

Славгородский В. П.,  
к.т.н. Бревнов А. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРОЛЛЕЙБУСНОГО ПАРКА ПУТЁМ УСТАНОВКИ ОБЪЁМНОЙ ГИДРОТРАНСМИССИИ НА БАЗЕ ТРОЛЛЕЙБУСА ЗиУ-9 (682-Б)

Предложена установка гидрообъёмной трансмиссии привода задних ведущих колёс троллейбуса. Полученные с помощью математических и аналитических расчётов данные об эксплуатационных и энергетических затратах троллейбуса показывают, что причиной нерационального расхода электроэнергии является реостатно-контакторная система управления, что ведёт к большому количеству рассеивания электроэнергии в атмосферу. Рассмотрены и проанализированы динамические изменения скорости и тяги подвижного состава до и после модернизации.

**Ключевые слова:** гидрообъёмная трансмиссия, троллейбус, реостатно-контакторная система управления, тяговый электродвигатель, рассеиваемая энергия, потребляемая электроэнергия.

### Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Троллейбус занимает особое место среди других видов городского пассажирского транспорта и имеет множество достоинств, но недостатки, которые кроются в агрегатах, механизмах и их элементах, ограничивают возможность развития столь перспективного наземного транспорта.

Реостатно-контакторная система управления (РКСУ) – комплекс электромеханического оборудования, предназначенный для регулирования тока в обмотках тяговых электродвигателей (ТЭД) подвижного состава троллейбуса. В основу принципа работы РКСУ положено подключение к обмоткам ТЭД набора фиксированных элементов сопротивления, называемых пуско-тормозными реостатами, которые ограничивают силу проходящего через эти обмотки электрического тока. Ступенчатое изменение подключенного к обмоткам ТЭД сопротивления достигается посредством достаточно сложной коммутации групп пуско-тормозных реостатов специализированным устройством, называемым групповым реостатным контроллером. Коммутация групп происходит благодаря механическому замыканию/размыканию контактов цепи управления и силовых цепей тягового двигателя в определенной последовательности. Необходимость ступенчатого изменения диктуется требованиями плавного разгона

торможения троллейбуса во избежание травм находящихся в нем пассажиров, для обеспечения равномерного комфортного разгона и замедления. При сборе той или иной схемы включения пуско-тормозных реостатов в цепь ТЭД используются электромагнитные контакторы – высокоточные коммутационные устройства релейного принципа действия, оснащенные приспособлениями для дугогашения и блокировочными контактами, а так же кулачковые элементы нажимного типа [1,2].

Основные недостатки РКСУ:

1) нерациональный расход электроэнергии, значительная часть которой уходит на нагрев пуско-тормозных сопротивлений без совершения полезной работы. Потери электроэнергии на нагрев составляют более трети общего расхода на электротягу. Таким образом, рассеиваемая энергия в пуско-тормозных реостатах на первой ходовой позиции (позиция пуска) и при торможении определяется [3]:

а) рассеиваемой энергией в пусковых реостатах за один цикл:

$$N_{\text{рас.р.н.}} = (I_{\text{ср}}^2 \cdot R) \cdot t_{\text{н.н}}, \quad (1)$$

где  $I$  – среднее значение тока на каждой пусковой позиции, А;  $R$  – сопротивление пусковых реостатов на пусковой позиции, Ом;  $t_{\text{н.н}} = 0,6с = 0,00017с$  – время срабатывания одной пусковой позиции;

б) рассеиваемой энергией в тормозных реостатах за один цикл:

$$N_{рас.р.м.} = (I_{ср}^2 \cdot R) \cdot t_{н.м}, \quad (2)$$

где  $t_{н.м} = 0,6с = 0,00017с$  – время срабатывания одной тормозной позиции.

Общая рассеиваемая энергия в пуско-тормозных реостатах за час работы троллейбуса на маршруте:

$$N_{рас.общ.} = (N_{рас.п.н.} + N_{рас.п.м.}) \cdot n_{ц} = \quad (3)$$

$$= (144 + 20) \cdot 120 = 19680 \text{ Вт},$$

где  $t_{ц} = 100 \div 120 \text{ цикл/ч}$  – число циклов пусков и торможений в час;

2) высокая стоимость комплектующих и расходных материалов – контакторы, кулачковые элементы, элементы сопротивлений содержат дорогостоящие цветные, полудрагоценные и драгоценные металлы. Расходы на запасные части и материалы для ремонта и обслуживания РКСУ составляют около 1,0 млн руб. в год;

3) низкая надежность РКСУ. Сложность электромеханических узлов и деталей является причиной частых выходов их из строя. Кроме того, внештатная работа РКСУ серьезно влияет на работу ТЭД, что, в свою очередь, часто приводит к выходу его из строя с последующим дорогостоящим ремонтом ТЭД или его заменой (стоимость ДК – 210А–3 составляет 350 тыс. руб.) [4];

4) высокая трудоемкость обслуживания. Согласно существующей технологии обслуживания узлов и агрегатов РКСУ, основные трудозатраты приходятся на проведение комплекса плановых осмотров и ремонтов (ТО-1, ТО-2, ТР.).

Недостатки есть и у тягового электродвигателя: нецелесообразное потребление энергии, обусловленное его конструкцией, высокая стоимость и затраты на ремонт данного агрегата, а также расходы на обслуживание.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является проектирование гидрообъемной трансмиссии и сравнительный анализ энергетических, скоростных и тяговых показателей троллейбуса до и после модернизации.

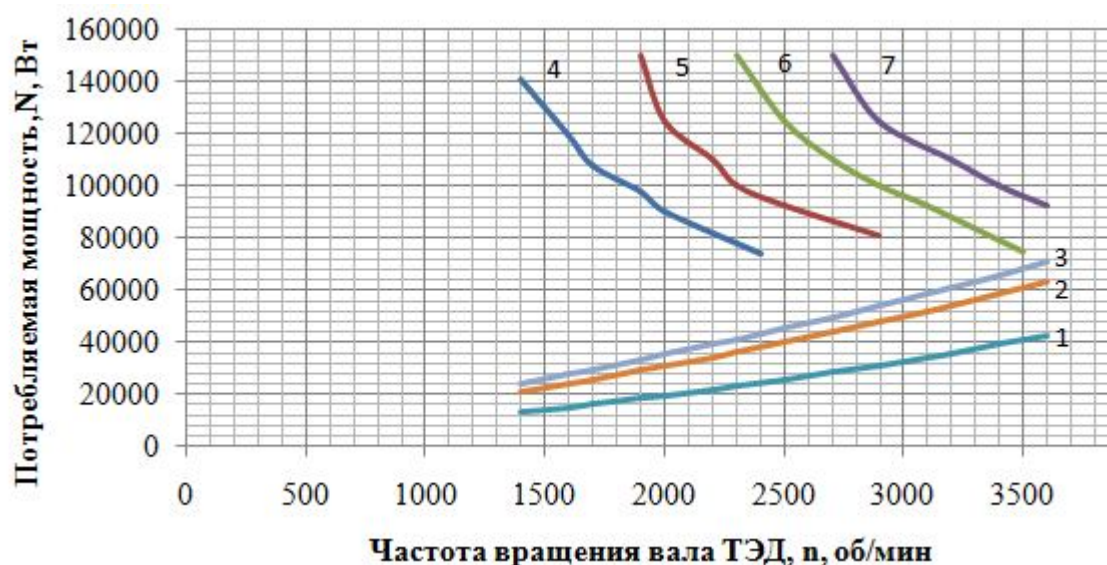
**Изложение материала и его результаты.** На преодоление сопротивления движению троллейбуса затрачивается значительная часть работы, совершаемой тяговым электродвигателем. Чем больше основное сопротивление движению, тем больше количество электроэнергии, потребляемой ТЭД из контактной сети. Величина основного сопротивления движению троллейбуса определяется его техническим состоянием и состоянием дорожного покрытия [5].

Чтобы наглядно представить целесообразность расхода электроэнергии при движении по ровной поверхности (уклон дороги равен 0%) в трёх режимах движения, а именно: при снаряжённой массе троллейбуса, номинальной вместимости и предельной загруженности на установившемся режиме движения (частота вращения вала ТЭД от 1400 до 3600 об/мин), – были проведены расчеты необходимой мощности тягового электродвигателя на преодоление сопротивления движению и потребляемой мощности ТЭД.

Мощность ТЭД, необходимая для преодоления суммарной силы сопротивления, представлена на рисунке 1 в виде графиков 1, 2, 3. Мощность, расходуемая ТЭД при существующей схеме управления во время работы при полном и ослабленном возбуждении (ПВ и ОВ) обмоток двигателя, показана на графиках 4, 5, 6, 7.

Сравнение характеристик мощностей показывает, что энергоресурсы существующей реостатно-контакторной системы управления ТЭД используются нерационально. Потребляемая мощность значительно превышает мощность, необходимую для движения троллейбуса по маршруту, так как значительная часть электроэнергии рассеивается в атмосфере.

Расход электрической энергии на движение троллейбуса характеризуется показателем её удельного расхода (потребления). Он равен количеству электроэнергии, расходуемой на движение троллейбуса и его вспомогательные нужды в кВт·ч на 1 км пройденного пути [6].



1 – необходимая мощность ТЭД при снаряжённой массе; 2 – необходимая мощность ТЭД при номинальной вместимости; 3 – необходимая мощность ТЭД при предельной вместимости; 4 – затраченная мощность ТЭД при ПВ и ОВ 100%/72%; 5 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 53%; 6 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 40%; 7 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 31%

Рисунок 1 Сравнительная характеристика мощностей

Удельный расход электрической энергии:

$$A' = (U_{ов} \cdot I_{ср} \cdot t / (60 \cdot 1000)) / v_{ср} = \quad (4)$$

$$= 550 \cdot 150 \cdot 50 / (60 \cdot 1000) / 30 = 2.29 \text{ кВт/км},$$

где  $U_{ов}$  – номинальное напряжение ТЭД;

$I_{ср}$  – среднее значение тока при данной средней скорости движения троллейбуса;  $t$  – время работы ТЭД под нагрузкой за час движения троллейбуса на маршруте;  $v_{ср}$  – средняя скорость движения троллейбуса.

В существующих троллейбусах ступенчатая электрическая трансмиссия, осуществляя связь двигателя с колёсами, нагружает двигатель моментом, пропорциональным моменту дорожных сопротивлений, которые, в свою очередь, изменяются в широком диапазоне произвольно. Реостатно-контакторная система управления предполагает использование только части энергии на преодоление дорожных сопротивлений. Значительная часть энергии рассеивается в реостатах. В результате двигатель используется недостаточно эффек-

тивно, и эксплуатационный расход электроэнергии весьма велик.

В работе предлагается модернизировать ходовую часть троллейбуса путём установки гидрообъёмной бесступенчатой трансмиссии, способной эффективно и рационально решать задачи передачи и трансформации энергии от двигателя к колёсам, но сохраняя такие характеристики, как скорость, проходимость, вместимость, а так же габаритные и массовые показатели троллейбуса [7].

Предлагаемая гидравлическая система представляет собой гидрообъёмную трансмиссию (ГОТ) привода задних ведущих колёс пассажирского троллейбуса ЗиУ 682Б. Суть данного объёмного гидропривода заключается в том, что передача энергии происходит посредством жидкости от насоса к гидромотору, таким образом, заставляя колёса данной машины (троллейбуса) вращаться. При этом, в зависимости от рабочих объёмов гидронасоса и гидромотора, могут изменяться момент и частота вращения валов, позволяя

избавиться от скачкообразного изменения скорости машины.

Гидравлическая установка с замкнутым контуром, изображённая на рисунке 2, включает в себя два аксиально-поршневых регулируемых насоса 11 и 12, каждый из которых соединён с двумя аксиально-поршневыми регулируемыми гидромоторами 5 и 6 посредством магистрального трубопровода: на напорной линии, участки  $l_V, l'_V, l_{VT}, l_{VIT}, l'_{VT}, l'_{VIT}$  соединяются через четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель 8 и делитель потока 7; на

всасывающе-сливной линии участки  $l_I, l'_I, l_{II}, l_{III}, l'_{IV}, l'_{IV}$  соединяются, через четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель 8, фильтр тонкой очистки 14, масляно-воздушный теплообменник 13. После гидронасосов установлены предохранительные клапаны 9 и 10 для сброса рабочей жидкости в случае превышения необходимого давления. Подача масла происходит из гидробака 1 через подпиточный насос 3 с напорным клапаном 2 и обратный клапан 4.

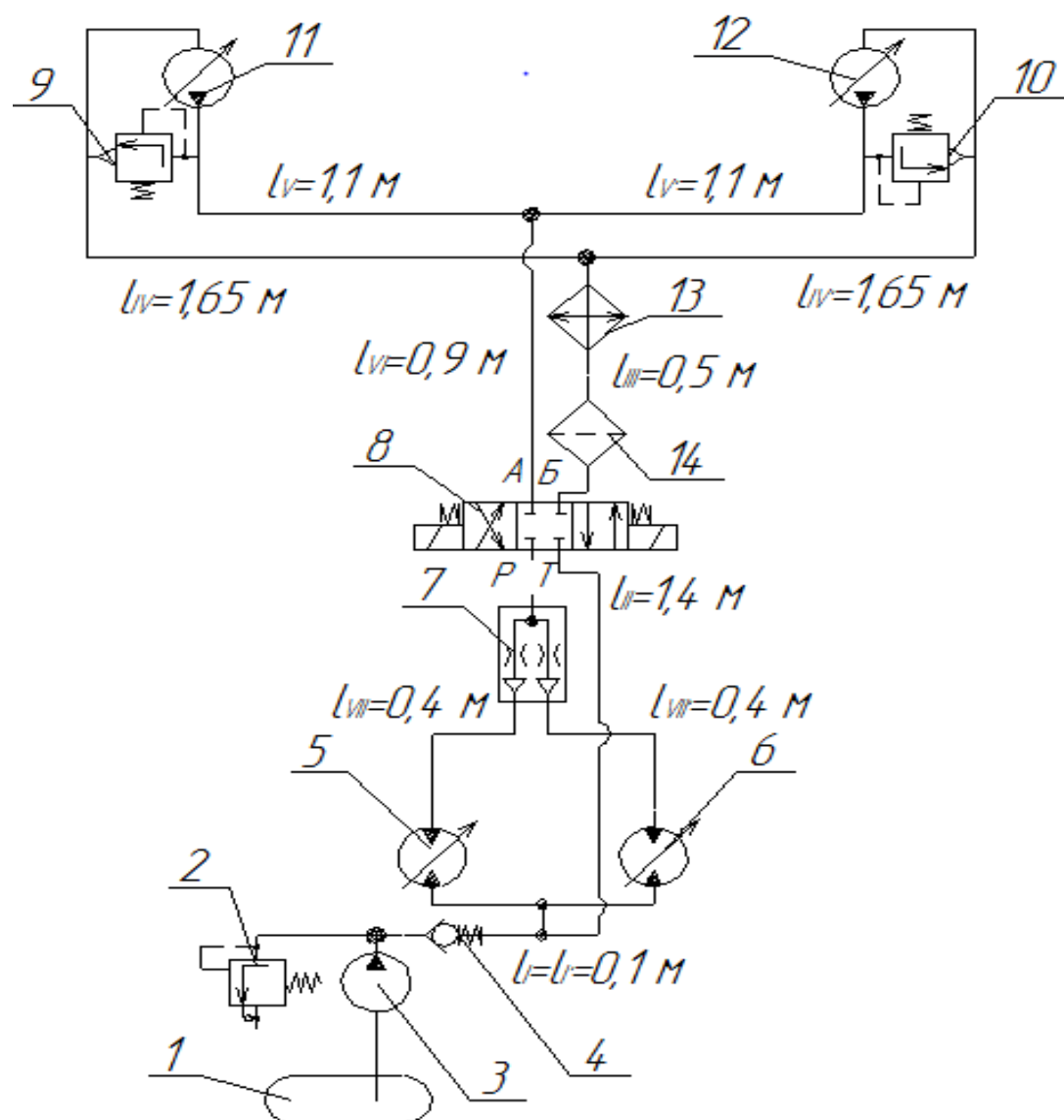


Рисунок 2 Гидрообъёмная трансмиссия привода задних ведущих колёс пассажирского троллейбуса

Трансмиссия работает следующим образом. При движении передним ходом направление вращения насосов 11 и 12 таково, что гидролинии  $l_V, l'_V, l_{VI}, l_{VII}, l'_{VII}$  являются напорными, а гидролинии  $l_I, l'_I, l_{II}, l_{III}, l'_{IV}, l'_{IV}$  сливными. Вспомогательный насос 3 подаёт рабочую жидкость из бака 1 через обратный клапан 4 в гидролинии  $l_{II}, l_{III}, l'_{IV}, l'_{IV}$ . Четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель 8 под действием высокого давления в напорной гидролинии находится в позиции А. При этом положении гидрораспределителя напорные гидролинии подсоединяются к делителю потока 7 с целью синхронизации вращения выходных валов регулируемых гидродвигателей посредством деления расхода жидкости (потока) на два

равных. После чего цикл завершается и жидкость поступает во всасывающе-сливной трубопровод, проходя через гидрораспределитель 8, находящийся в положении Б. Жидкость проходит очистку в фильтре 14, охлаждается до необходимой температуры и поступает в регулируемый насос для повторения цикла.

Вследствие модернизации пассажирского троллейбуса ЗиУ 682Б изменилось общее передаточное число редукторов из-за изменения конструкции путём избавления от центрального редуктора. Произведён пересчёт таких показателей, как динамическое изменение скорости (рис. 3, 4) и силы тяги ведущих колёс (рис. 5, 6) для того, чтобы проанализировать и сопоставить технические параметры до и после модернизации.

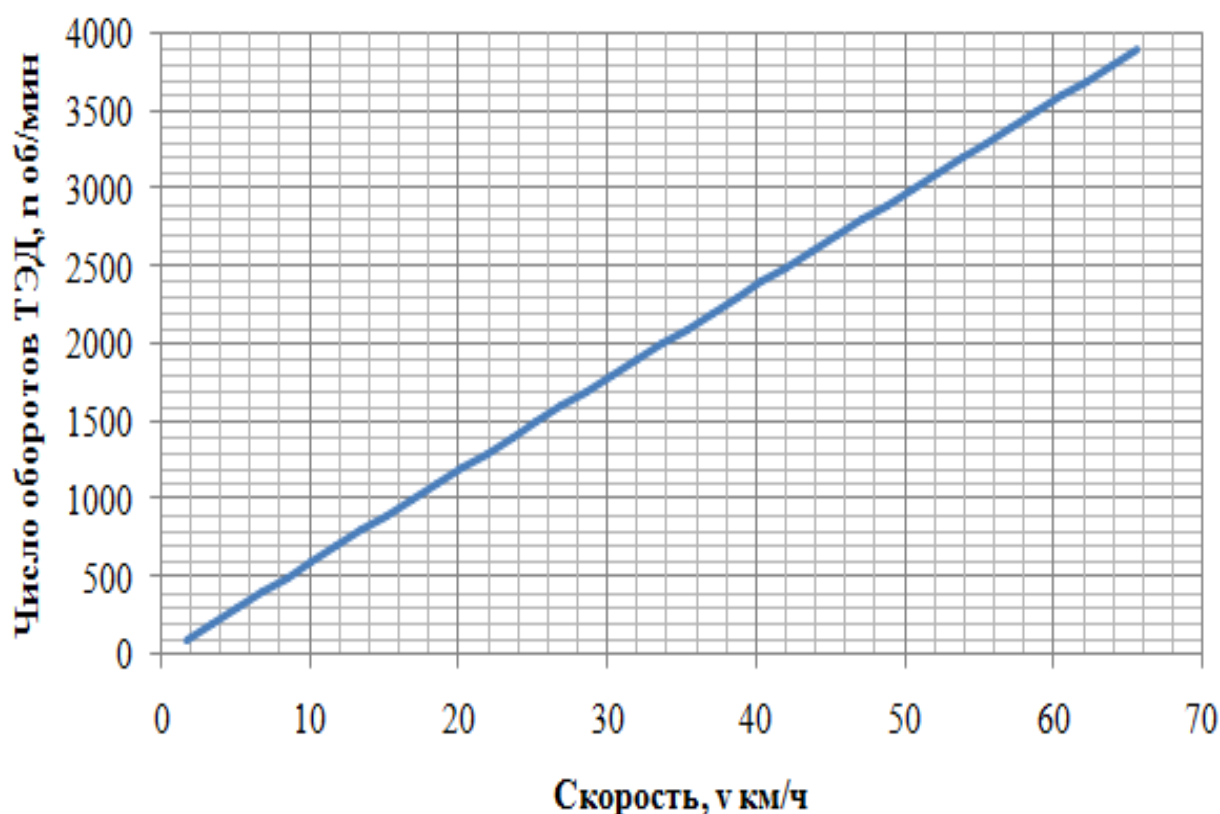


Рисунок 3 График скорости троллейбуса до модернизации

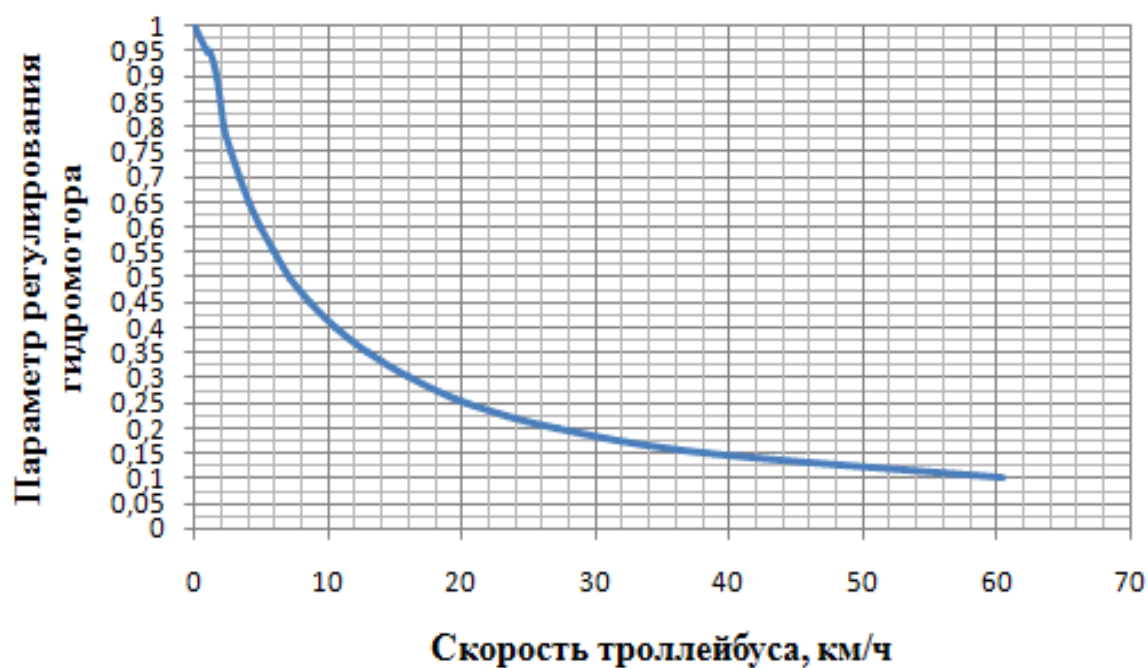
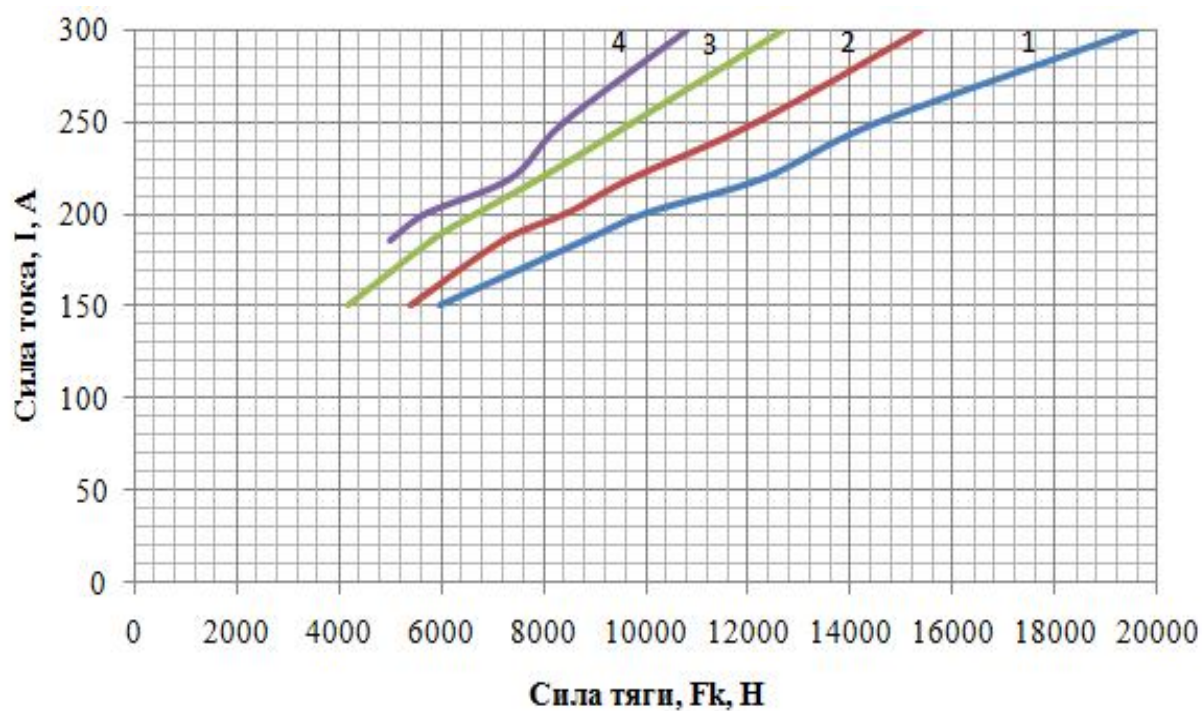


Рисунок 4 График скорости троллейбуса после модернизации



1 – сила тяги ведущих колёс при ПВ и ОВ 100%/72%; 2 – сила тяги ведущих колёс при ОВ 53%;  
3 – сила тяги ведущих колёс при ОВ 40%; 4 – сила тяги ведущих колёс при ОВ 31%.

Рисунок 5 График зависимости силы тяги ведущих колёс в установившемся режиме движения до модернизации

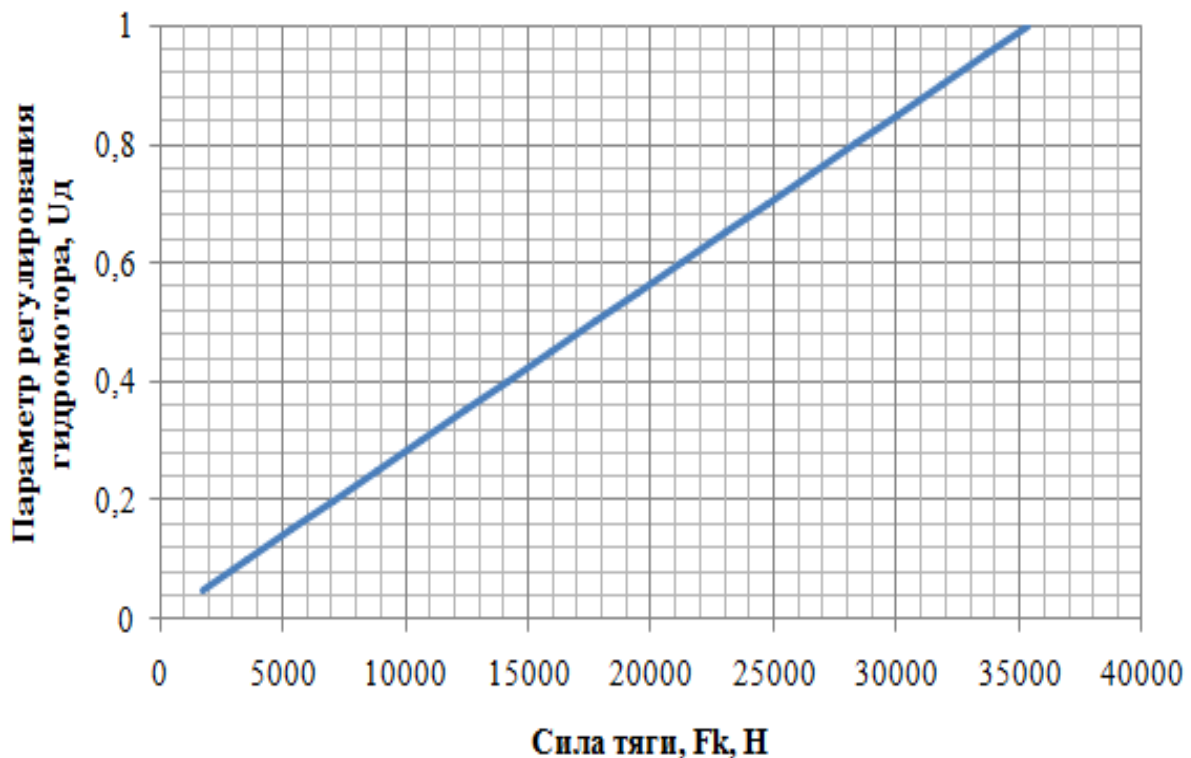


Рисунок 6 График зависимости силы тяги ведущих колёс после модернизации

Сравнивая скоростные и необходимые тяговые показатели троллейбуса до и после модернизации, можно сделать вывод, что троллейбус с гидростатической трансмиссией обеспечивает такие же скоростные и тяговые характеристики, как и в троллейбусе с электромеханической трансмиссией.

После модернизации на месте ТЭД ДК 210-А3 был установлен асинхронный электродвигатель мощностью 75 кВт. Удельный расход электрической энергии троллейбуса при движении по ровной поверхности при средней скорости 30 км/ч составил

$$A_{\text{мод.}} = (N_{\text{эл.дв.}} \cdot t / 60) / v_{\text{ср}} = \quad (5)$$

$$= (64,37 \cdot 50 / 60) / 30 = 1,79 \text{ кВт/км},$$

где  $N_{\text{эл.дв.}}$  – потребляемая электроэнергия ТЭД за час непрерывной работы при необходимом крутящем моменте насоса для развития скорости 30 км/ч.

Экономия затрачиваемой энергии на один кВт/км:

$$\Delta A = A' - A_{\text{мод}} = \quad (6)$$

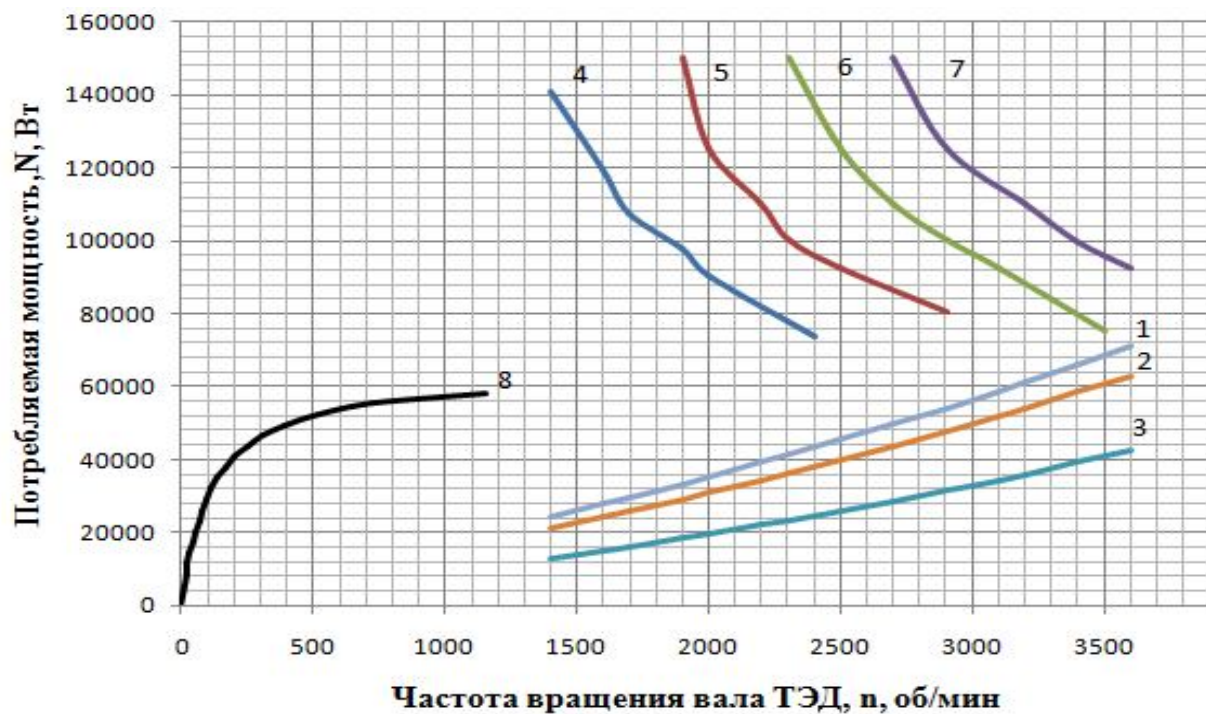
$$= 2,29 - 1,79 = 0,5 \text{ кВт/км}.$$

Для сопоставления расхода электроэнергии до и после модернизации была рассчитана электроэнергия, потребляемая асинхронным ТЭД с установленной ГОТ, находящимся под нагрузкой в среднем 50 мин в час. Сравнение ранее построенной характеристики (рис. 1) с новыми рассчитанными значениями представлено на рисунке 7. Анализ сравниваемых характеристик позволяет сделать вывод о более экономичном режиме работы гидравлической трансмиссии.

Экономический годовой эффект по электроэнергии:

$$A_{\text{мод.}} = (N_{\text{эл.дв.}} \cdot t / 60) / v_{\text{ср}} = \quad (7)$$

$$= 0,5 \cdot 30 \cdot 16 \cdot 365 \cdot 3,8 = 332880 \text{ руб}$$



1 – необходимая мощность ТЭД при снаряжённой массе; 2 – необходимая мощность ТЭД при номинальной вместимости; 3 – необходимая мощность ТЭД при предельной вместимости; 4 – затраченная мощность ТЭД при ПВ и ОВ 100%/72%; 5 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 53%; 6 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 40%; 7 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 31%; 8 – затраченная мощность асинхронного ТЭД.

Рисунок 7 Сравнительная характеристика мощностей после модернизации

где  $S_{пр}$  – расстояние, пройденное троллейбусом за один рабочий день;  $t_{мар}$  – рабочее время на маршруте; 365 – количество дней в году;  $C_{эл}$  – средняя стоимость за один кВт электроэнергии [4].

**Выводы и направление дальнейших исследований.** В результате проведенного исследования была рассмотрена возможность замены реостатно-контакторной системы управления тяговым электродвигателем гидрообъемной трансмиссией. Значительную часть времени троллейбус с РКСУ работает с частичной нагрузкой на невыгодных по расходу энергии режимах.

Гидрообъемная трансмиссия обеспечивает плавное движение троллейбуса с места и непрерывный, осуществляемый без

разрыва потока мощности, разгон. Кроме того, ГОТ позволяет обеспечить работу двигателя в номинальном установившемся режиме без частых разгонов и замедлений, что в конечном итоге заметно увеличивает срок его службы. Таким образом, в результате модернизации ожидается уменьшение энергетических, ремонтных и профилактических затрат. Учитывая, что расход энергии троллейбуса с гидрообъемной трансмиссией будет изменяться на протяжении всего цикла регулирования скорости, так как количество потребляемой электроэнергии будет зависеть от заданного крутящего момента на валу аксиального гидронасоса и времени работы ТЭД под нагрузкой при движении троллейбуса на маршруте, средняя скорость на маршруте

может быть увеличена, а затраты на электрическую тягу снижены, что повысит маневренность и пробег за такой же промежуток времени.

Дальнейшие исследования необходимо направить на поиск возможности умень-

шения энергетических затрат при пониженных нагрузках на ходовую часть троллейбуса, в частности при его остановках.

### Библиографический список

1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://eltroll.ru/Blok.php>.
2. Троллейбус пассажирский ЗиУ 682Б [Текст] : учеб. пособие / Г. В. Вишник и др. — М. : Транспорт, 1977. — 208 с.
3. Кутыловский, М. П. Электрическая тяга на городском транспорте [Текст] / М. П. Кутыловский, В. Д. Сургучёв. — М. : Стройиздат, 1964. — 347 с.
4. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://vpt33.ru/content/informaciya\\_dlya\\_smi.html](http://vpt33.ru/content/informaciya_dlya_smi.html)
5. Максимов, А. Н. Городской электротранспорт [Текст] / А. Н. Максимов. — М. : Академия, 2004. — 256 с.
6. Богдан, Н. В. Троллейбус. Теория, конструирование, расчёт [Текст] / Н. В. Богдан, Ю. Е. Атаманов, А. И. Сафонов. — Мн. : Ураджай, 1999. — 345 с.
7. Петров, С. Е. Оценка перспективности использования гидрообъемных трансмиссий на автомобильном транспорте [Текст] / С. Е. Петров. — Москва : Изд-во МГТУ «МАМИ». — С. 246–256.

© Славгородский В. П.

© Бревнов А. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,  
и.о. директора КП «Алчевскнастрас» Беломытцев Э. А.*

Статья поступила в редакцию 22.11.16.

**Славгородский В. П., к.т.н. Бревнов О. А. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

### МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРОЛЕЙБУСНОГО ПАРКУ ШЛЯХОМ УСТАНОВЛЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ГІДРОТРАНСМІСІЇ НА БАЗІ ТРОЛЕЙБУСА ЗІУ-9 (682-Б)

*Запропоновано установлення гідрооб'ємної трансмісії повідні задніх ведучих коліс троллейбуса. Отримані за допомогою математичних і аналітичних розрахунків дані про експлуатаційні та енергетичні витрати троллейбуса вказують на те, що причиною нераціональної витрати електроенергії є реостатно-контактна система управління, що приводить до великої кількості розсіювання електроенергії в атмосферу. Розглянуті та проаналізовані динамічні зміни швидкості і тяги рухомого складу до і після модернізації.*

**Ключові слова:** гідрооб'ємна трансмісія, троллейбус, реостатно-контактна система управління, тяговий електродвигун, розсіювана енергія, споживана електроенергія.

**Slavgorodskii V. P., PhD Brevnov A. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

### MODERNIZATION OF A TROLLEYBUS DEPOT THROUGH SETTING UP A VOLUMETRIC HYDRAULIC TRANSMISSION ON TROLLEYBUS ZIU-9 SERIES (682-B)

*Setup of hydrostatic transmission of a trolley-bus rear driveline is proposed. Using mathematical and analytical calculations there have been obtained evidence of exploitation and energy costs of a trolleybus which indicate that the reason for irrational expenditure of energy sources is rheostatic power operated motor controller cause a significant amount of energy dispersion in the atmosphere. There have been shown and analyzed the dynamic rate changes as well as a motive power drive before and after modernization.*

**Key words:** hydrostatic transmission, trolleybus, rheostatic power operated motor controller, traction motor, dispersive energy, electric energy input.

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ  
НАУКИ**

---

---

**ЕКОНОМІЧНІ  
НАУКИ**

---

---

**ECONOMICS**



УДК 658.5

к.э.н. Белозерцев О. В.,

к.э.н. Белозерцев Р. В.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, [belozertcev@bk.ru](mailto:belozertcev@bk.ru))

## СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ

*Проанализирован процесс формирования добавленной стоимости на шахтах и выделены основные пути снижения затрат как инструмент повышения эффективности работы предприятия.*

**Ключевые слова:** прибыль, себестоимость, угледобывающие предприятия, добавленная стоимость, эффективность, пути снижения затрат.

**Постановка проблемы.** Эффективная и стабильная работа большинства промышленных предприятий зависит от влияния множества факторов как внешней, так и внутренней среды, которые обеспечивают предприятию получение конкурентных преимуществ и своевременную их реализацию.

Одним из основных критериев оценки эффективности деятельности предприятия и реализации конкурентных преимуществ является величина прибыли, которая в значительной степени зависит от затрат на производство и сбыт продукции. Оценивая эффективность работы шахт Донбасса, следует отметить, что большинство из них по ряду объективных и субъективных причин являются убыточными. Основной причиной несбалансированной работы шахт отрасли является постоянный рост затрат на добычу угля и ухудшение горно-геологических условий отработки запасов.

Изменения внешней и внутренней среды функционирования угледобывающих предприятий актуализируют задачу по поиску путей повышения эффективности их работы, снижения затрат на всех технологических участках шахты и повышения конкурентоспособности угледобывающего предприятия. Особое значение решение этой задачи приобретает в условиях ограниченных финансовых ресурсов.

Для практического решения задач по оценке возможностей предприятия обеспечивать стабильную работу и поддерживать

конкурентные преимущества на основе снижения издержек предложены различные методические подходы. С. Каплан и П. Нортона предлагают общую модель создания стоимостной цепочки, которую можно использовать при анализе внутренних процессов предприятия [1, с. 93-103]. В качестве основных составляющих этих процессов авторы выделяют три компонента: инновации, операции и послепродажное обслуживание. Инновационный процесс отождествляется с изучением потребностей клиентов и разработкой товаров, позволяющих их удовлетворить, операционный процесс позволяет обеспечить эффективное производство этих товаров, а третья компонента обеспечивает обслуживание клиента после продажи и поставки товара.

Российский специалист в области менеджмента Р. Фатхутдинов предложил осуществлять оценку возможности формирования конкурентных преимуществ предприятий на основе их эксклюзивной ценности [2, с. 232-241]. При этом он определяет ценность как особое качество предприятия и предлагает классифицировать ее по 11 признакам. Реализация имеющихся ценностей каждым предприятием позволяет получить соответствующий эффект.

Однако на практике наибольшее распространение получил методический подход, предложенный М. Портером, позволяющий оценить вклад каждого производ-

ственного процесса предприятия в формирование потребительской стоимости продукта на основе построения соответствующей модели.

Этот подход используется специалистами при формировании затрат бизнес-процессов различных предприятий [3, с.3-4]. При формировании цепочки ценностей предприятия автор предлагает выделить основные процессы, которые непосредственно создают набор ценностей, и обслуживающие, то есть те, которые непосредственно не создают ценностей, но необходимы для нормального функционирования предприятия и выполнения основных процессов. При этом все виды деятельности рассматриваются во взаимной связи, от поставок ресурсов и сырья до реализации готовой продукции. Вместе с тем использование этой модели не позволяет провести учет отраслевых особенностей предприятий при определении основных и вспомогательных процессов.

**Постановка задачи.** Целью статьи является анализ процесса формирования добавленной стоимости на угледобывающем предприятии с целью повышения эффективности его деятельности и поиска путей снижения затрат в процессе выполнения основных и вспомогательных производственных процессов.

**Изложение материала и его результаты.** Многочисленными исследованиями было определено, что уровень конкурентоспособности предприятия в значительной степени зависит от выбора и эффективности реализации соответствующей стратегии конкуренции, которая позволяет использовать имеющиеся конкурентные преимущества. При этом учеными и практиками были предложены различные виды конкурентных стратегий, которые классифицируются по различным признакам. Однако наибольшее распространение на практике получил методический подход, предложенный Портером, что позволяет на основе построения матрицы в осях "стратегическая цель-стратегическое преимущество" выделить три типа общих

стратегий конкуренции, которые позволяют обеспечить преимущества: на основе наименьших затрат, дифференциации, или концентрации [4, с.51-63].

Оценивая возможность применения выделенных стратегий для достижения конкурентных преимуществ угледобывающими предприятиями, следует отметить, что наиболее целесообразной является стратегия минимизации затрат при выполнении основных и вспомогательных процессов добычи угля.

Обычно стратегия ценового лидерства применяется для достижения конкурентных преимуществ на многих предприятиях [5, с.390-399]. В этом случае преимущества в низкой стоимости достигаются тогда, когда все затраты на производство и реализацию продукции ниже, чем у конкурентов. Устойчивость таких конкурентных преимуществ зависит от многих факторов, способствующих их созданию. Одним из основных факторов, который позволяет снизить затраты на производство единицы продукции, является более эффективное использование производственной мощности и увеличение объемов ее производства. Особое значение этот фактор имеет при решении задач по снижению затрат на добычу угля.

Следует отметить, что отраслевая особенность формирования себестоимости добычи угля заключается в том, что в ее структуре до 60-70% занимают условно-постоянные затраты, а следовательно, основным условием снижения затрат на единицу продукции является увеличение объемов добычи угля.

Реализация стратегии лидерства по издержкам в угольной отрасли обеспечивает не только достижение ценовых преимуществ по сравнению с конкурентами, но и получение дополнительного дохода от реализации угольной продукции, добываемой с меньшими затратами.

Лидерство в этой сфере обуславливает максимальное использование имеющихся производственных мощностей, внедрение

новых технико-технологических решений, своевременное воспроизводство очистного фронта и контроль за формированием себестоимости товарной продукции во всех подсистемах шахты при выполнении производственных процессов. Для достижения этой цели необходимо разработать механизм контроля за формированием затрат при обеспечении максимальных объемов добычи угля и безопасных условий работы.

Анализ тенденций изменения таких важных показателей, характеризующих состояние угольной отрасли, как себестоимость 1 т товарной угольной продукции и объем производства товарной продукции, позволяет сделать вывод о том, что большинство предприятий Донбасса находятся в кризисном состоянии. За последнее время себестоимость 1 тонны товарной угольной продукции увеличилась в разы, а объем товарной продукции имеет тенденцию к резкому снижению.

В связи с тем, что величину себестоимости товарной продукции в значительной мере формируют производственные затраты, целесообразно провести анализ структуры производственной себестоимости угольной продукции, который показал, что основные затраты связаны с приобретением материалов и оборудования. Это обусловлено опережающим ростом цен на материалы и оборудование для угледобывающих предприятий по сравнению с ростом цен на уголь. Такая ситуация определяет необходимость проведения анализа формирования затрат по добыче угля.

С учетом рекомендаций специалистов и результатов ранее выполненных исследований для угледобывающего предприятия была сформирована модель создания добавленной стоимости, включающая основные и вспомогательные операции в процессе добычи угля (рис. 1).

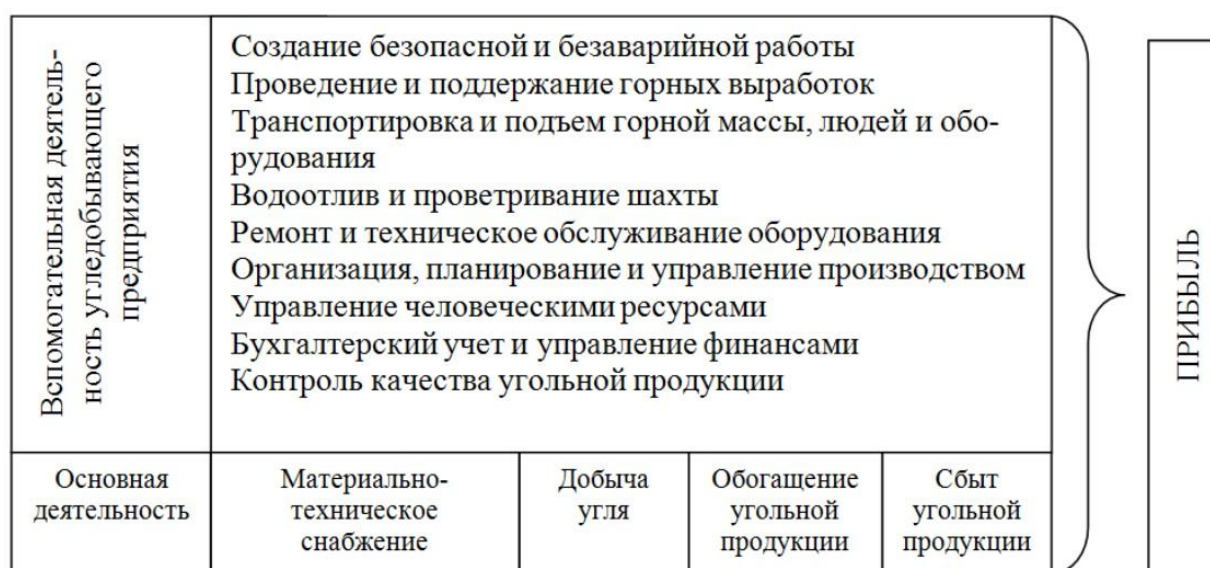


Рисунок 1 Процесс создания добавленной стоимости угледобывающего предприятия

Все виды деятельности в предложенной модели взаимосвязаны между собой. Так, оснащение очистного забоя надежным механизированным комплексом позволяет снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание, своевременная подготовка очистного фронта способствует повыше-

нию эффективности работ по добыче угля, создание безопасных и комфортных условий труда повышает рост производительности труда рабочих, а повышение качества угольной продукции обеспечивает ее эффективный сбыт и т. п. В некоторых случаях увеличение затрат по одному из

видов деятельности шахты может в дальнейшем способствовать их снижению на производство товарной продукции, что необходимо учитывать в процессе анализа и формирования конкурентных преимуществ на основе снижения себестоимости.

Вместе с тем, как отмечают специалисты, на формирование стоимости продукции существенно влияют затраты, связанные с поставками ресурсов и сбытом продукции [6, с.130 - 133].

Так, угледобывающее предприятие, функционируя в системе национальной экономики, имеет различные связи с другими предприятиями, которые также влияют на формирование затрат шахты. Поставщики горно-шахтного оборудования, энергоносителей и оборудования существенно влияют на формирование величины производственной себестоимости за счет использования различных приемов и механизмов, к которым можно отнести: формирование соответствующей ценовой политики, сроки поставки и качество техники, ее своевременный ремонт и обслуживание и т. п. При этом влияние этих факторов может быть прямым, непосредственно связанным с поставкой оборудования и оказанием услуг по завышенным ценам, и опосредованным, что обусловлено неэффективной работой шахты или ее участков из-за низкого качества техники и ее ремонта. Таким образом, аналогичное влияние могут оказывать и другие предприятия, предоставляющие услуги шахте: шахтопроходческие управления, транспортные организации и т. п. Многочисленными исследованиями специалистов доказано, что сила воздействия возрастает при монополизации рынка, а также при поставке уникального оборудования или предоставлении услуги.

Основными потребителями, которые могут повлиять на затраты угледобывающего предприятия, являются тепловые электростанции, коксохимические и коммунальные предприятия. Формируя требования к качеству угольной продукции и ее цене, потребители также влияют на вели-

чину производственных затрат по добыче угля. При этом необходимо учитывать, что если потребителями являются предприятия негосударственной формы собственности, то они легко могут поменять поставщика угольной продукции и перейти на потребление импортного угля, если он будет дешевле или лучшего качества.

В связи с чем можно сделать вывод, что в процессе поиска путей снижения затрат на производство 1 т готовой угольной продукции необходимо учитывать уровень затрат на снабжение и сбыт и осуществлять поиск путей по их снижению. Одним из перспективных направлений такой деятельности является заключение долгосрочных контрактов или создание вертикально интегрированных объединений, которые нашли широкое применение в зарубежной и отечественной практике. В последнее время практика привлечения негосударственного капитала и создание интегрированных структур распространяется и в угольной отрасли. Перспективность реализации этого направления подтверждается показателями работы таких шахт.

Каждое угледобывающее предприятие имеет свои внутренние резервы и возможности, обусловленные экономическим состоянием, типом реализуемой стратегии, влиянием факторов внешней и внутренней среды. Однако, в результате анализа литературы, посвященной вопросам управления затратами на угледобывающих предприятиях [7-9] можно сформировать основные направления деятельности шахт по достижению конкурентных преимуществ по выделенным в цепочке ценностей видам основной и вспомогательной деятельности (табл. 1).

Реализация этих направлений предполагает организацию учета затрат по всем видам деятельности, установление отклонений, анализ причин, обусловивших эти отклонения и принятие адекватных мер, позволяющих своевременно устранить и предотвратить их появление в будущем. При этом предлагаемые меры могут носить как тактический, так и стратегический характер.

---

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**


---

Таблица 1

Характеристика направлений снижения затрат на угледобывающих предприятиях

Основные и вспомогательные процессы по добыче угля	Возможные направления снижения затрат при реализации основных и вспомогательных процессов по добыче угля на шахтах	Ожидаемые результаты реализации стратегии
1	2	3
<u>Основные:</u> Материально-техническое обеспечение	Выполнение рабочей программы путем своевременных поставок материалов и оборудования с наилучшим соотношением цена/качество без участия посредников	Снижение материальных затрат и себестоимости угольной продукции, снижение сверхнормативных простоев и травматизма, улучшение технико-экономических показателей работы технологических участков шахты
Добыча угля	Рациональная и эффективная выемка запасов угля в пределах шахтного поля на основе использования технологических решений и очистного оборудования нового технического уровня	Сокращение расходов угля, выполнение производственной программы, повышение интенсификации очистных работ и улучшение технико-экономических показателей работы, создание комфортных условий труда и снижение травматизма
Обогащение угольной продукции	Производство товарной угольной продукции, отвечающей требованиям потребителей по качеству с наименьшими затратами	Повышение качества товарной угольной продукции, увеличение цены ее реализации, обеспечение стабильного сбыта
Сбыт угольной продукции	Формирование устойчивых каналов сбыта угольной продукции потребителям на выгодных условиях при сокращении количества посреднических операций	Увеличение объемов реализации угольной продукции и прибыли шахты, сокращение периода оборота средств и увеличение их объемов
<u>Вспомогательные:</u> Создание безопасных и безаварийных условий работы	Своевременное проведение защитных и специальных мероприятий, позволяющих обеспечить эффективную отработку угольных пластов в сложных горно-геологических условиях (сближенные пласты, пласты опасные по внезапным выбросам угля и газа, пласты с труднообрушаемой кровлей, повышенным выделением метана и т. п.)	Улучшение технико-экономических показателей работы шахты, снижение количества аварий на всех технологических звеньях, повышение безопасности основных и вспомогательных процессов, создание комфортных условий работы, снижение травматизма
Проведение и поддержание горных выработок	Совершенствование организации, техники и технологии горнопроходческих работ на шахтах на основе применения прогрессивных технологических схем проведения горных выработок. Обеспечение нормальных условий эксплуатации горных выработок путем применения технологических решений, обеспечивающих безремонтную их эксплуатацию	Увеличение темпов проведения подготовительных горных выработок и обеспечения своевременного воспроизводства фронта очистных работ. Снижение производственных затрат на ремонт и поддержание горных выработок, находящихся в зоне опорного давления, обеспечение эффективных и безопасных условий труда и проветривания забоев

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Транспортирование и подъем горной массы, породы, людей и оборудования.	Обеспечение устойчивой работы подсистем шахты путем создания транспортной цепочки, позволяющей решать задачи по бесперебойной и безопасной транспортировке и подъему угля и породы, доставки материалов и оборудования, перевозке людей	Повышение производительности труда на всех технологических участках, связанных с добычей угля и его обеспечением, сокращение простоев оборудования, обеспечение рациональной организации подземного хозяйства угледобывающего предприятия
Водоотлив и проветривание шахты	Предотвращение затопления горных выработок и создание санитарно-гигиенических условий работы на всех технологических участках шахты. Применение эффективных схем вентиляции, позволяющих обеспечить безопасные условия труда, нормальный температурный режим, снизить запыленность воздуха до допустимых пределов	Повышение производительности труда работников, снижение профессиональных заболеваний, а также обеспечение безопасных условий труда работников, снижение простоев оборудования и повышение нагрузки на очистные забои
Организация, планирование и управление производством	Внедрение прогрессивных форм организации производства в пространстве и времени на всех технологических звеньях шахты	Полное использование производственной мощности шахты, улучшение безопасности работ и санитарно-гигиенических условий труда, повышение производительности
	Обеспечение устойчивого развития угледобывающего предприятия в краткосрочной и долгосрочной перспективе на основе разработки взаимосвязанной программы работ, что позволяет наиболее рационально использовать ресурсы	Плановое развитие шахты и ее производственных подсистем с минимальными затратами
	Разработка управленческих решений на всех иерархических уровнях управления шахтой, позволяющих обеспечить выполнение производственных программ	Повышение эффективности работ при выполнении основных и вспомогательных процессов добычи угля
Управление человеческими ресурсами	Обеспечение функционирования подсистемы шахты на основе отбора и обучения рабочих соответствующих профессий, повышение квалификации инженерно-технических работников, мотивации качественного и эффективного труда	Выполнение производственной программы, снижение трудоемкости и травматизма, повышение производительности труда, обеспечение принятия обоснованных управленческих решений
Бухгалтерский учет и управление финансами	Оперативный контроль за формированием расходов на всех технологических звеньях и своевременное обеспечение финансовыми ресурсами процессов реализации стратегических альтернатив	Снижение производственных затрат и себестоимости добычи 1 тонны угля, получение дополнительного дохода, внедрение новых технико-технологических решений на всех технологических участках шахты
Контроль качества угольной продукции	Разработка мероприятий, позволяющих улучшить качественные показатели угля по всей технологической цепочке "очистной забой-поверхность шахты"	Повышение срока службы очистного оборудования и его производительности, снижение производственных затрат на добычу угля, повышение спроса на угольную продукцию и увеличение цены

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что, независимо от этапа развития, экономического состояния и реализованной стратегической альтернативы, каждое угледобывающее предприятие в процессе своего функционирования решает задачи, связанные с минимизацией затрат на добычу угля и производством конкурентоспособной угольной продукции.

Для поиска возможных резервов снижения затрат по добыче угля проанализирован процесс формирования добавленной стоимости на угледобывающем предприятии. Управление затратами на угледобывающих предприятиях предусматривает:

анализ затрат по всем видам экономической деятельности, которые создают ценность; установление затратообразующих факторов по всей цепочке «поставщик-шахта-потребитель»; создание устойчивого механизма управления факторами издержек.

Предложены основные направления снижения затрат при выполнении основных и вспомогательных процессов по добыче угля, которые могут быть реализованы на угледобывающих предприятиях в процессе разработки стратегических альтернатив развития.

### Библиографический список

1. Каплан, Р. С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию [Текст] : пер. с англ. / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон. — М. : ЗАО «Олимп-бизнес», 2003. — 304 с.
2. Фатхутдинов, Р. В. Конкурентоспособность организации в условиях кризиса: экономика, маркетинг, менеджмент [Текст] / Р. В. Фатхутдинов. — М. : Издательско-книготорговый центр «Маркетинг», 2002. — 892 с.
3. Толкач, В. Построение системы BALANCED SCORECARD: методология и примеры [Текст] / В. Толкач // Отдел маркетинга. — 2005. — № 5. — С. 2–6.
4. Портер, М. Стратегия конкуренции [Текст] / М. Портер. — К. : Основи, 1998. — 390 с.
5. Экономическая стратегия фирм / под ред. А. П. Градова. — СПб. Спец-Лит, 2000. — 589 с.
6. Томпсон, А. А. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации [Текст] / А. А. Томпсон, А. Дж. Стрикленд. — М. : Инфра-М, 2000. — 412 с.
7. Астахов, А. С. Экономика и менеджмент горного производства [Текст]: книги: Основы экономики горного производства; Основы менеджмента горного производства / А. С. Астахов, Г. Л. Краснянский — М. : изд-во АГН, 2002. — 366 с., 317 с.
8. Грибин, Ю. Г. Исследование тенденций развития и оценка эффективности процессов угледобычи в современных условиях [Текст] / Ю. Г. Грибин, В. Ф. Петров, А. Н. Щанников. — М. : ЦНИИУголь, 2000. — 20 с.
9. Кучерова, Е. В. Организация оперативного управления себестоимостью на угольных разрезах [Текст] / Е. В. Кучерова, Т. Г. Королева, В. В. Хряков. — Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. — 106 с.

© Белозерцев О. В.

© Белозерцев Р. В.

**Рекомендована к печати д.э.н., проф. каф. СКС ДонГТУ Бизяновым Е. Е.,  
гл. специалистом отдела торговых отношений и  
потребительского рынка АГА ЛНР УЭРОиС Сулеймановой Т. А.**

Статья поступила в редакцию 16.11.16.

**к.е.н. Белозерцев О. В., к.е.н. Белозерцев Р. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, belozertcev@bk.ru)**  
**ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ НА ВУГЛЕДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ**

*Проаналізовано процес формування доданої вартості на шахтах і виділені основні шляхи зниження витрат як інструмент підвищення ефективності роботи підприємства.*

**Ключові слова:** *прибуток, собівартість, вугледобувні підприємства, додана вартість, ефективність, шляхи зниження витрат.*

**PhD Belozercev O. V., PhD Belozercev R. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR, belozertcev@bk.ru)**  
**COST SAVING AT COAL MINING ENTERPRISES AS AN INSTRUMENT FOR INCREASING THEIR WORKING EFFICIENCY**

*Process of added value formation at mines has been analyzed and there have been found out the main ways for cost saving as an instrument for increasing enterprise working efficiency.*

**Key words:** *profit, cost value, coal mining enterprise, added value, efficiency, ways for cost saving.*

УДК 621. 313: 621.318.122

к.э.н. Дьячкова В. В.,  
Валишин Р. Д.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Разработана экономико-математическая модель оценки уровня конкурентоспособности угледобывающего предприятия с учетом специфики угольной отрасли. Авторы предлагают оценивать конкурентоспособность предприятия как функцию от трех показателей: уровня финансово-экономического, производственно-технологического и горно-геологического состояния.*

**Ключевые слова:** Оценка уровня конкурентоспособности, экономико-математическая модель, финансово-экономический показатель, производственно-технологический показатель, горно-геологические условия, бизнес-процесс, иерархия приоритетов, система предпочтений.

### Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

Успешное существование предприятия на рынке невозможно без анализа внутренней и внешней среды. Качественный анализ позволит определить конкурентные преимущества и недостатки в финансово-хозяйственной деятельности предприятия, своевременно выработать мероприятия, снижающие влияние негативных факторов. Всегда целесообразнее предотвратить реализацию угроз, чем тратить ресурсы на ликвидацию полученного ущерба.

Проводя оценку конкурентоспособности предприятия, можно определить угрозы формируемые внешней средой и, отталкиваясь от этих данных, разработать мероприятия для устранения “узких мест” на предприятии. Это значительно повысит эффективность деятельности предприятия, а значит и конкурентоспособность в целом. Кроме того, оценка конкурентоспособности угледобывающих предприятий представляет интерес и для государства. Данная оценка может помочь в ранжировании шахт и определении, для каких предприятий целесообразней проводить политику дотаций.

Существуют различные подходы к оценке уровня конкурентоспособности предприятия. Данным вопросом занимались такие ученые: Р.А. Фатхутдинов, И.М. Лифиц, А.А. Колобов, А.И. Романова, Ш.Г. Гильмитдинов, Л.В. Баумгартен и

др. Однако в данных работах недостаточно внимания уделяется моделированию конкурентоспособности предприятия.

Проблемой применения экономико-математических методов для оценки конкурентоспособности предприятия занимались такие ученые: Д.А. Гайнанов, Г.Р. Гузаирова, М.А. Голованова, З.В. Каменева, Э.В. Билашенко, М.А. Шуваев. [1-3] Однако предложенные экономико-математические модели не учитывают специфику угольной отрасли, поэтому моделирование оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия является актуальной задачей.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является разработка экономико-математической модели оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия, позволяющей получить точное и своевременное значение её уровня.

### Изложение материала и его результаты.

Применение системного подхода к моделированию оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия требует уточнения термина. Под конкурентоспособностью предприятия понимается комплексная характеристика шахты, характеризующаяся возможностью в любой момент времени и в пределах своей компетенции обеспечивать конкурентные преимущества и прибыльность с учетом адаптации к постоянно изменяющимся условиям внутренней и внешней среды. [4]

С целью изучения предметной области были проанализированы процессы управления конкурентоспособностью на следующих угледобывающих предприятиях: ш. “Комсомольская” ГУП ЛНР “Антрацит”, ш. “№ 3” ГУП ЛНР “Антрацит” и ш. “Вергелевская” ГУП ЛНР “Центруголь”. Результат анализа представлен в виде функ-

циональной модели бизнес-процессов в нотации IDEF0. (рис. 1-3). Преимуществом такого представления является полнота и комплексность описания процессов, наглядность преобразования информационных потоков, взаимодействия участников и влияния лимитирующих документов. [5]

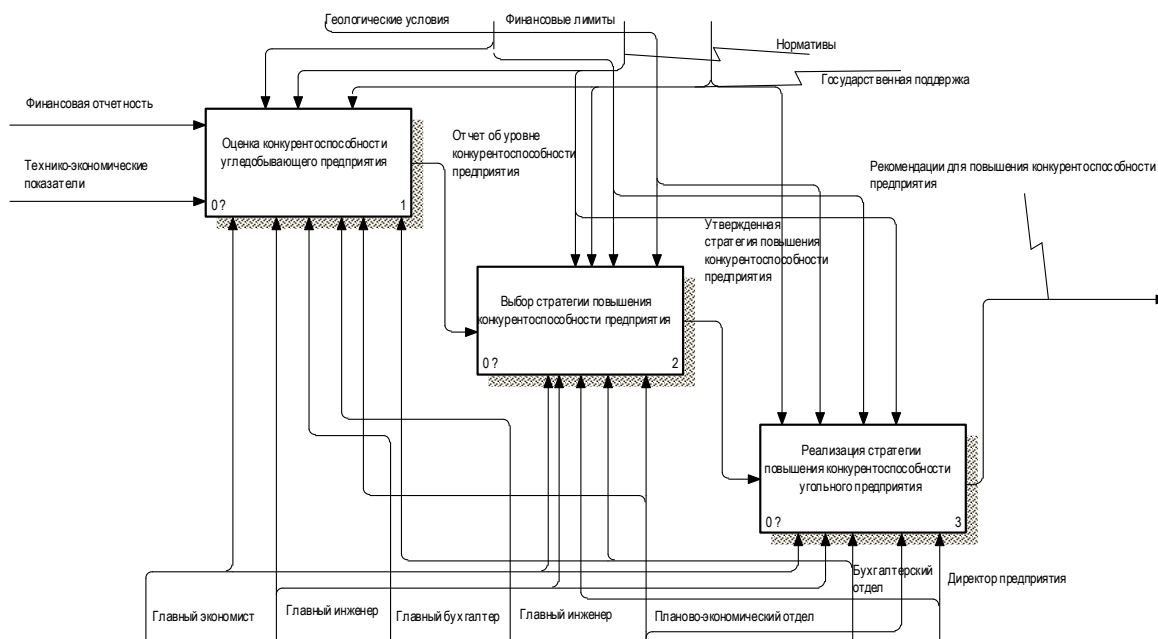


Рисунок 1 Модель бизнес-процесса формирования механизма управления конкурентоспособностью предприятия

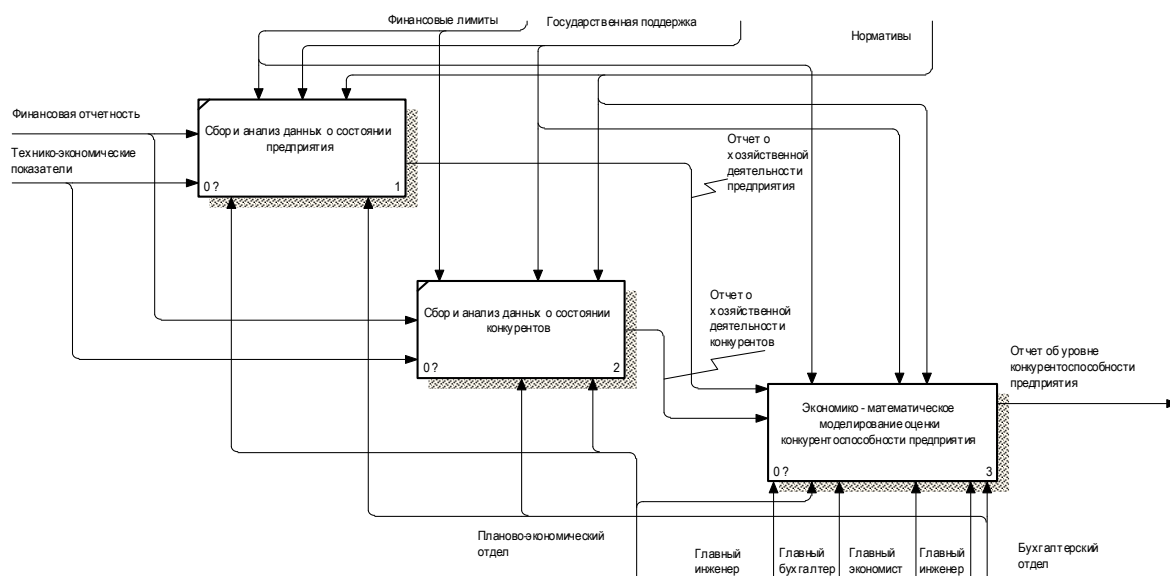


Рисунок 2 Декомпозиция процесса оценки конкурентоспособности предприятия

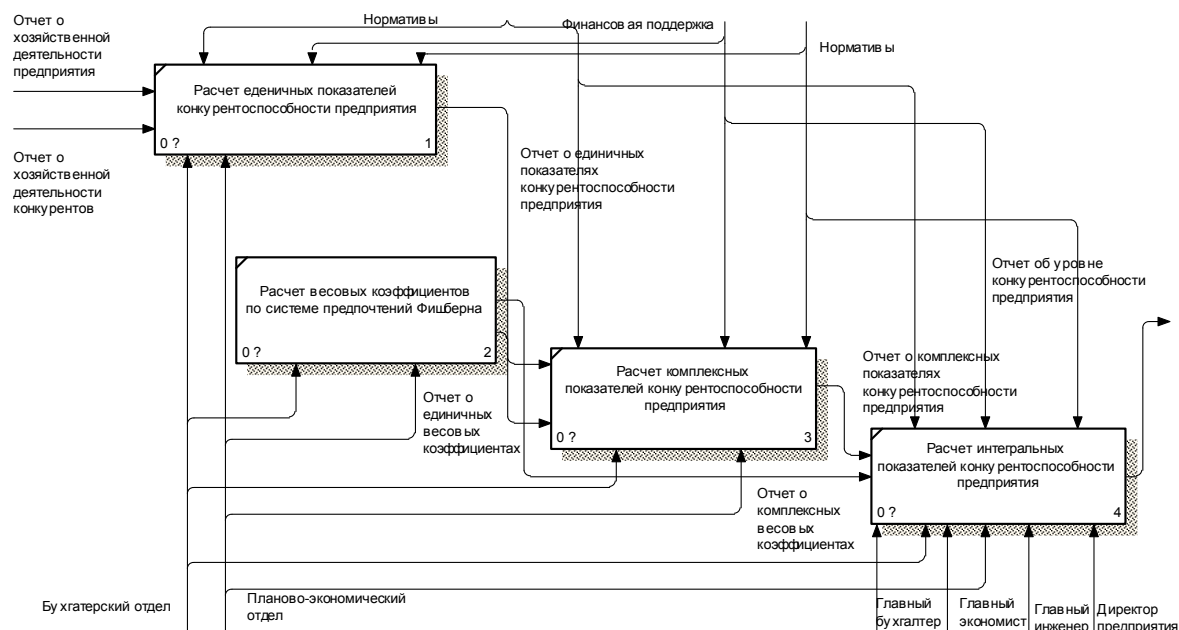


Рисунок 3 Декомпозиция бизнес-процесса экономико-математическое моделирование оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия

Процесс формирования механизма управления конкурентоспособностью шахты включает 3 под процесса: оценка конкурентоспособности угледобывающего предприятия, выбор стратегии повышения конкурентоспособности, реализация стратегии повышения конкурентоспособности (рис. 1). Процесс оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия лежит в основе механизма управления ею; данный подпроцесс является важным и ответственным, поскольку неверная, неточная и несвоевременная оценка повлечет за собой реализацию неэффективной стратегии.

Рассмотрим детальней процесс оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия. Он включает: сбор и анализ данных о состояниях исследуемых предприятий и конкурентов, экономико-математическое моделирование оценки конкурентоспособности предприятия. Анализ данных о состоянии угледобывающего предприятия и его конкурентах основывается на финансовой отчетности (формы 1, 2) и технико-экономических показателях. Результатом этого анализа являются отчеты о финансовой деятельности предприятия и

конкурента, которые в свою очередь являются входными документами для экономико-математического моделирования оценки конкурентоспособности предприятия. Сбором и анализом финансовой отчетности и технико-экономических показателей занимается планово-экономический и бухгалтерский отделы под контролем главного инженера, главного экономиста, главного бухгалтера, главного маркшейдера и директора предприятия.

Экономико-математическое моделирование оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия включает 4 подпроцесса: расчет единичных показателей, расчет весовых коэффициентов по системе предпочтений Фишберна, расчет комплексных показателей конкурентоспособности предприятия и расчет интегрального показателя конкурентоспособности предприятия. Их взаимодействие, входные, выходные документы и взаимодействие представлены на рисунке 3.

Первым этапом построения модели оценки конкурентоспособности шахты является выбор факторов, включаемых в модель. К ним отнесем уровень финансово-

экономического, производственно-технологического и горно-геологического состояния предприятия.

В отличие от моделей, рекомендованных в [1-3], предлагается не учитывать маркетинговую составляющую, поскольку маркетинговая политика незначительно влияет на результат финансово-хозяйственной деятельности угледобывающих предприятий. Значительное влияние на производительность и потенциальные возможности угледобывающего предприятия оказывают горно-геологические условия.

Представим конкурентоспособность предприятия функцией от трех параметров:

$$K = f(C_F, C_P, C_G), \quad (1)$$

где  $C_F$  – комплексный финансово-экономический показатель конкурентоспособности предприятия;

$C_P$  – комплексный производственно-технологический показатель конкурентоспособности предприятия;

$C_G$  – комплексный горно-геологический показатель конкурентоспособности предприятия;

Финансово-экономические показатели включают наиболее объективные показатели хозяйственной деятельности угледобывающего предприятия, которые учитывают специфику деятельности предприятия, полностью отражают его финансовое состояние, состояние основных фондов и экономический результат.

и<sub>Ф1</sub>. Коэффициент общей ликвидности отражает способность компании погашать текущие (краткосрочные) обязательства за счёт только оборотных активов.

и<sub>Ф2</sub>. Финансовая устойчивость предприятия показывает, какая часть актива финансируется за счёт устойчивых источников, то есть долю тех источников финансирования, которые организация может использовать в своей деятельности длительное время.

и<sub>Ф3</sub>. Себестоимость 1 т угля является наиболее важным показателем на угледобывающем предприятии, так как с помощью показателя себестоимости руко-

водство предприятия осуществляет текущий и месячный контроль за расходованием фонда оплаты труда и материальных ресурсов. Кроме того, себестоимость продукции является основной частью цены на выработанную продукцию.

и<sub>Ф4</sub>. Объем реализации в оптовых ценах – один из важнейших финансово-экономических показателей, позволяет оценить эффективность деятельности предприятия.

и<sub>Ф5</sub>. Фондоотдача является отличным показателем полноты использования действующих основных фондов. С помощью данного показателя появляется возможность выявлять резервы и использовать их.

и<sub>Ф6</sub>. Фондоемкость отражает, насколько предприятие оснащено оборудованием для выработки полезных ископаемых, что является важным для определения финансово-экономического состояния предприятия.

и<sub>Ф7</sub>. Износ основных фондов отражает, насколько скоро предприятию нужно будет произвести замену оборудования и насколько эффективно может работать имеющееся.

Производственно-технологические показатели должны включать объем добычи предприятия, производительность работников и эффективность использования имеющегося оборудования на шахте.

и<sub>Р1</sub>. Добыча угля по шахте в год. Этот показатель отражает, насколько эффективна производственная деятельность предприятия и какие объемы продукции способно добывать угледобывающее предприятие в настоящее время.

и<sub>Р2</sub>. Производительность труда 1 работающего по шахте позволит нам определить, насколько плодотворна целесообразная деятельность работников на угледобывающем предприятии.

и<sub>Р3</sub>. Темпы проведения вскрывающих и подготавливающих выработок являются не менее важным производственным показателем, так как без своевременного проведения выработок добыча полезного ископаемого в очистных выработках будет не возможна.

u<sub>p4</sub>. Подвигание линии очистного забоя отражает, насколько эффективно используется очистное оборудование.

u<sub>p5</sub>. Среднедействующая очистная линия позволит нам определить общую протяженность очистных забоев.

Горно-геологические показатели должны отражать качество добываемого угля, и условия залегания обрабатываемого пласта.

u<sub>G1</sub>. Зольность пласта является основным показателем качества продукции. Средняя величина зольности утверждается вместе с ценой и указывается в преискуранте в качестве средней расчетной. Если наблюдается отклонение в содержание золы, то это непосредственно сказывается на цену угольной продукции. [6]

u<sub>G2</sub>. Мощность пласта отражает, насколько конкурентоспособен разрабатываемый пласт, т. к. чем он выше, тем предприятие больше и более проще сможет добывать полезное ископаемое.

u<sub>G3</sub>. Промышленные запасы позволяют определить нам, сколько ресурсов имеет предприятие и на какой промежуток времени их хватит.

u<sub>G4</sub>. Угол падения пласта отражает, насколько тяжелые условия залегания

пласта, от него зависит, какое оборудование можно установить в данных условиях и на сколько производительной и трудоемкой будет добыча полезного ископаемого.

u<sub>G5</sub>. Глубина ведения горных работ влияет на себестоимость добытой угольной продукции, а также на трудоемкость ведения горных работ

Вторым этапом разработки модели оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия является построение древо видной иерархии и системы предпочтений факторов, где каждый фактор ставится в отношении предпочтения ( $\succ$ ) или безразличия ( $\approx$ ) к другому.

Построим систему предпочтений показателей конкурентоспособности для угледобывающего предприятия:

$$K = \{C_F \approx C_P \succ C_G; u_{F1} \approx u_{F2} \approx u_{F3} \succ u_{F4} \succ u_{F5} \approx u_{F6} \approx u_{F7}; u_{P1} \succ u_{P2} \succ u_{P3} \approx u_{P4} \approx u_{P5}; u_{G1} \succ u_{G2} \approx u_{G3} \succ u_{G4} \approx u_{G5}\} \quad (2)$$

Древоидная иерархия с наложенной на ней системой предпочтений представлена на рисунке 4.

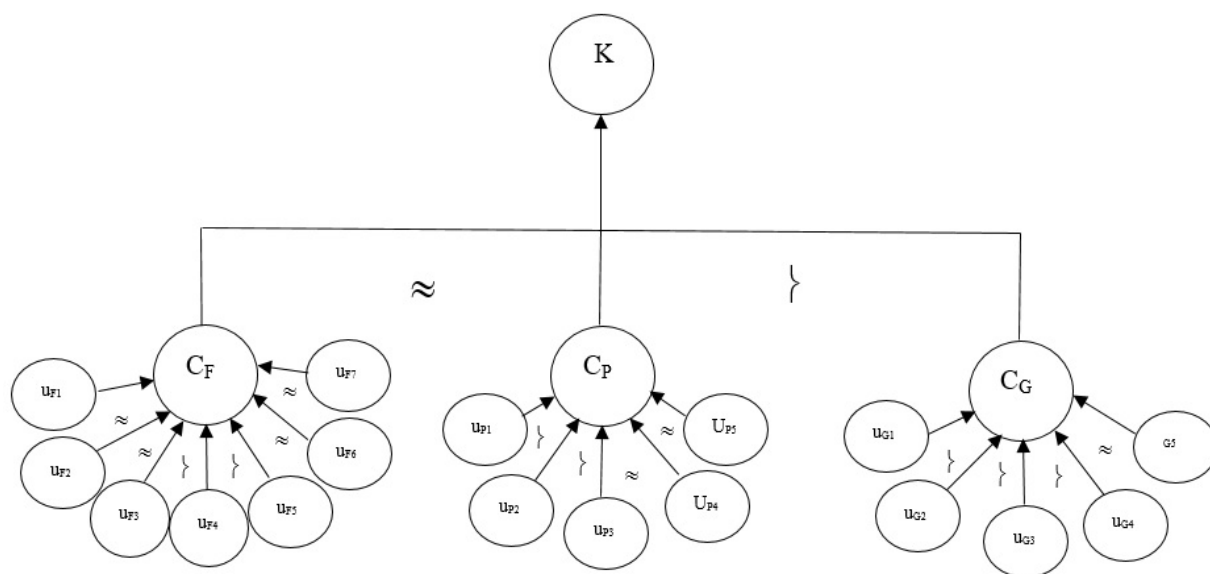


Рисунок 4 Древовидная иерархия конкурентоспособности предприятия с наложенной на нее системой предпочтений

На основе сформированной системы предпочтений определим весовые коэффициенты с помощью системы весов Фишберна [7].

Далее необходимо определить единичные показатели конкурентоспособности.

Если увеличение показателя положительно влияет на конкурентоспособность предприятия, то формула примет вид:

$$u_{ij} = \frac{p_{ij}}{P_{ij}^o}, \quad (3)$$

если увеличение показателя негативно влияет на конкурентоспособность предприятия, то:

$$u_{ij} = \frac{p_{ij}}{P_{ij}^o}, \quad (4)$$

где  $u_{ij}$  – единичный  $j$ -ый показатель конкурентоспособности предприятия по  $i$ -му комплексному показателю;

$p_{ij}$  – оцениваемый  $j$ -ый параметр предприятия;

$P_{ij}^o$  – оцениваемый  $j$ -ый параметр конкурента (эталона);

$i$  – номер комплексного показателя конкурентоспособности предприятия ( $i = \overline{1, n}$ );

$j$  – номер единичного показателя конкурентоспособности предприятия ( $j = \overline{1, m}$ ).

Проведем оценку уровня конкурентоспособности предприятия ш. “Комсомольская” ГУП ЛНР “Антрацит” относительно конкурентов (ш. “Вергелевская” ГУП ЛНР “Центруголь” и ш. “№ 23” ГУП ЛНР “Антрацит”), а также относительно условно-эталонного предприятия, которое формируется путем выбора лучших значений по показателю из анализируемых предприятий.

Оценка уровня конкурентоспособности относительно условно-эталонного предприятия позволит выявить диспропорции между потенциальными и реальными возможностями предприятия.

Сведем полученные единичные показатели конкурентоспособности предприятия и их весовые коэффициенты, рассчитанные с помощью системы предпочтений Фишберна в таблицу 1.

Таблица 1

Уровень конкурентоспособности предприятия по единичным показателям ш. “Комсомольская” ГУП ЛНР “Антрацит” относительно конкурентов и эталона

Показатель	Относительно ш. “Вергелевская”	Относительно ш. “№ 23”	Относительно эталона	Вес
1	2	3	4	5
<b>Финансово-экономические показатели</b>				<b>0,4</b>
Коэффициент общей ликвидности	0,204081633	0,333333333	0,204081633	0,214
Финансовая устойчивость предприятия	0,185185185	1,25	0,185185185	0,214
Себестоимость 1 тонны угля, у.е.	0,818494711	1,038841929	0,818494711	0,214
Объем реализации в оптовых ценах;	3,159695102	2,821969567	1	0,148
Фондоотдача	0,743589744	1,380952381	0,743589744	0,07
Фондовооруженность	2,829449153	2,881337648	1	0,07
Износ основных фондов	4,705882353	6,588235294	1	0,07

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
<b>Производственно-технологические показатели</b>				<b>0,4</b>
Добыча угля по шахте в год, тыс.т	3,155684952	2,878669276	1	0,363
Производительность труда 1 рабочего по шахте, т/мес.	1,507462687	1,352678571	1	0,273
Темпы проведения вскрывающих и подготавливающих выработок, м/мес.	1,780952381	1,53909465	1	0,182
Подвигание линии очистного забоя, м.	1,3075	1,16481069	1	0,091
Среднедействующая очистная линия, м	1,96692112	2,050397878	1	0,091
<b>Горно-геологические показатели</b>				<b>0,2</b>
Зольность пласта	0,997493734	1,012531328	0,997493734	0,33
Мощность пласта	1,333333333	1,066666667	1	0,25
Промышленные запасы	4,195328859	5,261109615	1	0,17
Угол падения пласта	0,666666667	1,2	0,666666667	0,17
Глубина ведения горных работ	0,449541284	0,871559633	0,449541284	0,08

Имея весовые коэффициенты и единичные показатели конкурентоспособности, определим комплексные показатели конкурентоспособности предприятия по формуле:

$$C_i = \sum_{j=1}^m u_{ij} \cdot a_j, \quad (5)$$

где  $C_i$  – комплексный показатель конкурентоспособности предприятия;

$a_j$  – вес  $j$ -го показателя конкурентоспособности предприятия;

$u_{ij}$  – единичный  $j$ -ый показатель конкурентоспособности предприятия по  $i$ -м параметру.

Интегральный показатель конкурентоспособности предприятия определяется по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^n C_i \cdot a_i, \quad (6)$$

или в нашем случае:

$$K = C_F \cdot a_F + C_P \cdot a_P + C_G \cdot a_G, \quad (7)$$

где  $K$  – интегральный показатель конкурентоспособности предприятия.;

$C_F$  – комплексный финансово-экономический показатель;

$C_P$  – комплексный производственно-технологический показатель;

$C_G$  – комплексный горно-геологический показатель;

$a_F$  – вес комплексного финансово-экономического показателя;

$a_P$  – вес комплексного производственно-технологического показателя;

$a_G$  – вес комплексного горно-геологического показателя.

Рассчитаем по формулам (5) и (7) комплексный и интегральный показатели конкурентоспособности предприятия и сведем их в таблицу 2.

Таблица 2

Комплексные и интегральные показатели уровня конкурентоспособности угледобывающего предприятия

Уровень конкурентоспособности ш. Комсомольская	Комплексный финансово-экономический показатель ( $C_F$ )	Комплексный производственно-технологический показатель ( $C_P$ )	Комплексный горно-геологический показатель ( $C_G$ )	Интегральный показатель конкурентоспособности предприятия ( $K$ )
Относительно ш. "Вергелевская"	1,30562	2,179157	1,525009	1,698913
Относительно ш. "№ 23"	1,738334	1,986937	1,768915	1,843892
Относительно эталона	0,598512	1	0,89847	0,819099

Из таблицы 2 видно, что ш. "Комсомольская" ГУП ЛНР "Антрацит" является более конкурентоспособным относительно обоих конкурентов (ш. "Вергелевская" ГУП ЛНР "Центруголь" и ш. "№23" ГУП ЛНР "Антрацит"), где интегральный показатель  $K$  равен, соответственно, 1,68 и 1,84, что свидетельствует о весомых конкурентных преимуществах исследуемого предприятия.

Однако интегральный показатель уровня конкурентоспособности предприятия ш. "Комсомольская" ГУП ЛНР "Антрацит" относительно эталона составляет  $K = 0,81$ ; значит, предприятие лидирует далеко не по всем показателям. Предложенный подход к оценке конкурентоспособности предприятия позволяет выявить направления для её повышения, так как комплексный финансово-экономический показатель ( $C_F = 0,599$ ) является наихудшим относительно эталона.

Предприятие нуждается в разработке мероприятий для улучшения этого показателя.

### Библиографический список

1. Гайнанов, Д. А. Экономико-математическая модель оценки конкурентоспособности предприятия [Текст] / Д. А. Гайнанов, Г. Р. Гузаирова // Вестник УГАТУ: научный журнал Уфимского государственного авиационного технического университета. — Уфа, 2010. — Т. 14 — № 5(40). — С. 243–246.

### Выводы и направления дальнейших исследований.

Предложена функциональная модель бизнес-процессов, наглядно, комплексно и полно отображающая процесс оценки конкурентоспособности на угледобывающем предприятии.

Разработана экономико-математическая модель оценки конкурентоспособности угледобывающего предприятия, учитывающая специфику отрасли и позволяющая точно и своевременно выявить конкурентные преимущества и недостатки, определить направление развития предприятия.

В дальнейшем планируется разработка шкалы для интерпретации полученных значений конкурентоспособности и матрицы выбора стратегии для управления конкурентоспособностью угледобывающего предприятия.

2. Шуваев, М. А. Экономико-математическое моделирование оценки конкурентоспособности предприятий [Текст] / М. А. Шуваев // Экономические науки. — 2012. — № 02. — С. 321–324.
3. Голованова, М. А. Экономико-математическая модель оценки конкурентоспособности промышленной продукции [Текст] / М. А. Голованова, З. В. Каменева, Э. В. Билашенко // Экономика и управление предприятиями машиностроительной отрасли: проблемы теории и практики. — 2014. — № 3 (27).
4. Дёмин, С. А. Понятие конкурентоспособности предприятия в современных условиях [Текст] / С. А. Дёмин // Вест. Ом. Ун-та. — 2011. — № 3. — С. 325–329.
5. Драгунова, Е. В. Моделирование бизнес-процесса оценки конкурентоспособности предприятия [Текст] / Е. В. Драгунова, Т. А. Финк // Молодой ученый. — 2010. — № 3. — С. 48–52.
6. Некрасовский, Я. Э. Основы технологии горного производства [Текст] : учебное пособие / Я. Э. Некрасовский, О. В. Колоколов. — М. : Недра, 1981. — 200 с.
7. Фишберн, П. Теория полезности для принятия решений [Текст] / П. Фишберн. — М. : Наука, 1978.

© Дьячкова В. В.,

© Валишин Р. Д.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. ЭК и ИТ ДонГТУ Лепило Н. Н.,  
нач. планового отдела филиала ш. "Черкасская" ГУП ЛНР "Центроуголь" Грива М. В.*

Статья поступила в редакцию 16.11.16.

**к.е.н. Дьячкова В. В., Валишин Р. Д. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**

#### **МОДЕЛЬ ОЦІНКИ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВУГЛЕДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Розроблено економіко-математичну модель оцінки рівня конкурентоспроможності вугледобувного підприємства з урахуванням специфіки вугільної галузі. Автори пропонують оцінювати конкурентоспроможність підприємства як функцію від трьох показників: рівень фінансово-економічного, виробничо-технологічного та гірничо-геологічного стану.

**Ключові слова:** Оцінка рівня конкурентоспроможності, економіко-математична модель, фінансово-економічний показник, виробничо-технологічний показник, гірничо-геологічні умови, бізнес-процес, ієрархія пріоритетів, система переваг.

**PhD in Economics Diiachkova V. V., Valishin R. D. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

#### **ASSESSMENT MODEL OF COMPETITIVENESS OF COAL MINING ENTERPRISES**

Economic and mathematical model of assessment a competitiveness ratio of coal mining enterprises considering peculiarities of coal branch was developed. The authors propose to assess enterprise competitiveness as a function of three indexes: financial and economic, industrial-engineering and mining-and-geological condition levels.

**Key words:** assessment a competitiveness ratio, economic and mathematical model, financial and economic index, industrial-engineering index, mining-and-geological conditions, business process, hierarchy of priorities, preference pattern.

**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 ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора (п.4)) и базовым издательским стандартам по оформлению статей по ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания».

Сборник научных трудов издается 1-4 раза в год. 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 ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ»), секретарь редакционной коллегии Скомская Светлана Анатольевна.

Сборник содержит следующие разделы: «Науки о земле», «Металлургия и материаловедение», «Машиностроение и машиноведение», «Строительство и архитектура», «Экономические науки».

Содержание статей должно отвечать новым достижениям науки и техники, их практическому значению, соответствовать технической направленности сборника и представлять интерес для широкого круга специалистов.

В статье должно быть кратко изложено то новое и оригинальное, что разработано авторами, показано преимущество перед аналогами предлагаемых разработок, описаны их особенности и практическая значимость. Результаты работы не должны предоставляться в виде тезисов.

Ответственность за нарушение авторских прав, несоблюдение действующих стандартов и за недостоверность приведенных в статье данных полностью несут авторы статьи.

Статья должна сопровождаться:

- подписью корректора издательско-полиграфического центра (каб. 2115);
- внутренней и внешней рецензиями (на усмотрение автора, рекомендовано два вида рецензий: рецензия в произвольном изложении; международная форма рецензирования статьи);
- лицензионным договором с автором(и);

Авторы сторонних организаций дополнительно сопровождают статью рекомендательным письмом.

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 (210х297 мм), с полями: верхнее, нижнее — 27 мм; левое — 23 мм, правое — 25 мм. Различать колонтитулы четных и нечетных страниц: от края до верхнего колонтитула — 2 см.; от края до нижнего колонтитула — 2 см. Страницы не нумеруются. Рукопись статьи оформляется с применением редактора MS Word (не ниже версии 6.0 и не старше версии 11(2003)) шрифтом Times New Roman, размером 12 пт, одинарным интервалом, выравниванием по ширине, абзацным отступом 0,5 см. Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть активирована. Весь материал подается в черно-белом оформлении (без градиентов серого или цветовой палитры). Не допускается использование списков (маркированных и нумерованных) и элементов «Надпись». Запрещается вставлять в рукопись сканированные рисунки (графики, диаграммы) и другие неизменяемые объекты (формулы).

### **Оформление статей**

Статья подается отдельным файлом «Статья.doc».

УДК проставляется вверху, выравнивание по левому краю, шрифт полужирный, без абзацного отступа.

Через один интервал — ученая степень, фамилия, инициалы, разделенные пробелом. С новой строки в круглых скобках — название организации, название города, страны, e-mail автора, через запятую. Шрифт полужирный, курсив, выравнивание по правому краю, без абзацного отступа.

С новой строки — название статьи, выравнивание по центру, шрифт Ariel, полужирный, видоизменение: все прописными, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца — 12 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. Не допускается набор всего названия заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация на языке публикации, курсивом, размером 11 пт.

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, интервал между колонками 0.5 см.

Слова «рисунок» и «таблица» в упоминаниях по тексту пишутся полностью (Пример: «... на рисунке 2 ...»), а в ссылках в конце предложения пишется сокращенно 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 заключаются в квадратные скобки. Рекомендованное количество ссылок — не более восьми источников с датой их издания не ранее чем 20 лет назад.

Через один интервал — ученая степень, фамилия, инициалы, полное название организации, название статьи, аннотации и ключевые слова приводятся на оставшемся языке из двух (русский, украинский), размером шрифта 11 пт.

Ученая 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.

Ученая 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*», размером шрифта 11 пт, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть выключена.

Фамилия, имя, отчество оформляются полужирным шрифтом.

С новой строки — ученая 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 — реферат. Реферат объемом 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.

Рисунки, выполненные в программах Corel, CAD, Word и др., переводятся в один из описанных выше форматов, предпочтительно векторные.

Графический материал следует располагать непосредственно после текста, в котором он упоминается впервые или на следующей странице. Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте и нанесены слева направо, сверху вниз. Перед рисунком интервал 12 пт. Выравнивание по центру, ширина в одну колонку (большие рисунки располагают на ширину страницы, вверху или внизу страницы). 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 11 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. Статья не должна заканчиваться рисунком. Рекомендуется, чтобы площадь, занятая рисунками, составляла не более 25% общего объема.

### **Формулы**

Абзац, содержащий формулы, должен иметь следующие параметры: выравнивание по левому краю, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца 6 пт, позиции табуляции — 3,75 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 формул 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 по тексту 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, интервал после абзаца — 6 пт с запретом автоматического переноса слов в абзаце.

Таблица выравнивается по центру контейнера, в книжной ориентации, шириной в 1 колонку (большие таблицы располагаются на ширину страницы, вверху или внизу страницы). 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

<b>Клишин Н. К., Касьян С. И., Чепурной Д. С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТРЕЩИНОВАТЫХ КРОВЕЛЬ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИХ УПРОЧНЕНИЮ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ ШАХТ .....	5
<b>Касьян С. И., Кизияров О. Л.</b> ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ РАЗГРУЗОЧНОЙ ПОЛОСЫ НА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОД ВОКРУГ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ .....	12
<b>Денисенко В. П.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ НА ЛАВУ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ И ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ГАЗОВОГО БАРЬЕРА ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА .....	18
<b>Шульгин П. Н.</b> ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАСПОРТОВ БВР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ .....	27
<b>Аверин Г. А., Филонюк Ю. В.</b> ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА .....	33
<b>Аверин Г. А., Ларченко В. Г., Корецкая Е. Г.</b> ВЛИЯНИЕ КРЕПКИХ ПОРОД НА МАКСИМАЛЬНЫЕ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ им. ФРУНЗЕ.....	40
<b>Ларченко В. Г., Маталкина Ю. А.</b> ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНЫХ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ОСНОВНЫХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ФАКТОРОВ .....	45

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<b>Новохатский А. М., Диментьев А. О., Филиппенко Д. Г., Блинов А. М.</b> ОКУСКОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....	55
<b>Куберский С. В., Максаев Е. Н.</b> ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ВОРОНКООБРАЗОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ .....	61
<b>Русанов И. Ф., Русанова Н. И.</b> ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЛИФРАКЦИОННОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЯ .....	69
<b>Романчук А. Н.</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОТСЕЧКИ КОНЕЧНОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА .....	74
<b>Митичкина Н. Г., Токарев А. В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК КРУГЛОЙ ФОРМЫ ПОД ДАЛЬНЕЙШУЮ ВЫТЯЖКУ ИЗ КВАДРАТНЫХ ШТАМПОВКОЙ ОБКАТЫВАНИЕМ НА ОСНОВАНИИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	79
<b>Горецкий Ю. В., Денищенко П. Н.</b> УЧЕТ УПРУГОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ ВЫСОКИХ РАСКАТОВ .....	87
<b>Ромачнук Я. А., Горчаков А. Р.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ МЕТАЛЛА СО ШЛАКОМ НА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША .....	96

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<b>Дрозд Г. Я.</b> СТРАТЕГИЯ И АЛГОРИТМ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ .....	105
<b>Братчун В. И., Дрозд Г. Я., Бизирка И. И.</b> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НА ОРГАНО- МИНЕРАЛЬНОМ И ИЗВЕСТНЯКОВОМ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКАХ .....	117
<b>Дрозд Г. Я., Хвортова М. Ю.</b> ТРУБОПРОВОДЫ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖКХ КАК ОБЪЕКТЫ ПРИСТАЛЬНОГО ВНИМАНИЯ .....	122

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<b>Михайлов А. Н., Таровик А. Б.</b> СНИЖЕНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ИНСТРУМЕНТА .....	143
<b>Зотов В. А.</b> МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РЕАКЦИЙ СИСТЕМ С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ .....	149
<b>Козачишен В. А., Изюмов Ю. В.</b> МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ КОМКА ШИХТЫ В ОКОМКОВАТЕЛЕ БАРАБАННОГО ТИПА .....	154
<b>Козыряцкий Л. Н., Рутковский Ю. А., Чебан В. Г., Рутковский А. Ю., Жудин П. Е.</b> К ПРОБЛЕМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ВЛИЯНИЯ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ НА РАБОТУ ЭРЛИФТНОГО ГИДРОПОДЪЕМНИКА С ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУЙНОГО АППАРАТА ПРИ МАЛЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПОГРУЖЕНИЯХ СМЕСИТЕЛЯ.....	157
<b>Долголаптев В. М., Козачишена Е. С.</b> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛА .....	163
<b>Мосягин Н. А., Чекалов А. Н., Ткачева Е. С., Мосягин Н. А.</b> ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С ЗУБЧАТЫМИ ВЕНЦАМИ НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ АВТОМАТАХ .....	168
<b>Славгородский В. П., Бревнов А. А.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРОЛЛЕЙБУСНОГО ПАРКА ПУТЁМ УСТАНОВКИ ОБЪЁМНОЙ ГИДРОТРАНСМИССИИ НА БАЗЕ ТРОЛЛЕЙБУСА ЗиУ-9 (682-Б) .....	174

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Белозерцев О. В., Белозерцев Р. В.</b> СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ .....	185
<b>Дьячкова В. В., Валишин Р. Д.</b> МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ .....	193
ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ В СБОРНИК ТРУДОВ ДонГТУ ....	202

## ЗМІСТ

## НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

<b>Клішин М. К., Касьян С. І., Чепурний Д. С.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРИЩИНУВАТИХ ПОКРІВЕЛЬ СТОСОВНО ДО ЇХ ЗМІЩЕННЯ В ОЧИСНИХ ВИБОЯХ ШАХТ .....	5
<b>Касьян С. І., Кізіяров О. Л.</b> ВПЛИВ ШИРИНИ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СМУГИ НА НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПОРІД НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ .....	12
<b>Денисенко В. П.</b> ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЛАВУ ЗА ГАЗОВИМ ФАКТОРОМ ТА ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ГАЗОВОГО БАР'ЄРУ ВИЇМКОВОЇ ДІЛЬНИЦІ .....	18
<b>Шульгін П. М.</b> ОБГРУНТУВАННЯ НОВОЇ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ПАСПОРТІВ БПР З ВИКОРИСТАННЯМ ЕОМ.....	27
<b>Аверін Г. А., Філонюк Ю. В.</b> ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНИХ РОБІТ ОЧИСНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ .....	33
<b>Аверін Г. А., Ларченко В. Г., Корецька О. Г.</b> ВПЛИВ МІЦНИХ ПОРІД НА МАКСИМАЛЬНІ ОСІДАННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХІ В УМОВАХ ШАХТИ ім. ФРУНЗЕ .....	40
<b>Ларченко В. Г., Маталкіна Ю. А.</b> ЗАЛЕЖНІСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО ОСІДАННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ВІД ОСНОВНИХ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ЧИННИКІВ .....	45

## МЕТАЛУРГІЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<b>Новохатський О. М., Діментьєв О. О., Філіпенко Д. Г., Блінов О. М.</b> ЗГРУДКУВАННЯ ЗАЛІЗОВМІСНИХ ВІДХОДІВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ .....	55
<b>Куберський С. В., Максасв Є. М.</b> ВПЛИВ ЕФЕКТУ ВОРОНКОУТВОРЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ БЕЗПЕРЕРВНОГО РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ .....	61
<b>Русанов І. Ф., Русанова Н. І.</b> ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПОЛІФРАКЦІЙНОГО СИПУЧОГО МАТЕРІАЛУ НА ГАЗОДИНАМІЧНИЙ ОПІР ШАРУ .....	69
<b>Романчук О. М.</b> ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СИСТЕМ ВІДСІЧЕННЯ КІНЦЕВОГО КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКУ .....	74
<b>Мітічкіна Н. Г., Токарев О. В.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК КРУГЛОЇ ФОРМИ З КВАДРАТНИХ ПІД ПОДАЛЬШЕ ВИТЯГУВАННЯ ШТАМПУВАННЯМ ОБКАТУВАННЯМ НА ПІДСТАВІ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ .....	79
<b>Горецький Ю. В., Денищенко П. М.</b> УРАХУВАННЯ ПРУЖНОЇ СКЛАДОВОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТЦІ ВИСОКИХ РОЗКАТІВ .....	87
<b>Романчук Я. О., Горчаков А. Р.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ МЕТАЛУ ЗІ ШЛАКОМ НА ФІЗИЧНІЙ МОДЕЛІ СТАЛЕРОЗЛИВНОГО КОВША .....	96

## БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

<b>Дрозд Г. Я.</b> СТРАТЕГІЯ І АЛГОРИТМ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ ЖИТТЄЗА- БЕЗПЕЧЕННЯ .....	105
<b>Братчун В. І., Дрозд Г. Я., Бізирка І. І.</b> ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСФАЛЬТОБЕТОНУ НА ОРГАНО- МІНЕРАЛЬНОМУ І ВАПНЯКОВОМУ МІНЕРАЛЬНИХ ПОРОШКАХ .....	117
<b>Дрозд Г. Я., Хвортова М. Ю.</b> ТРУБОПРОВІДИ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖКГ ЯК ОБ'ЄКТИ ПИЛЬНОЇ УВАГИ .....	122

## МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАШИНОЗНАВСТВО

<b>Михайлов О. М., Таровик А. Б.</b> ЗНИЖЕННЯ СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИ- РОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ІНСТРУМЕНТА .....	143
<b>Зотов В. О.</b> МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ РЕАКЦІЙ СИСТЕМ З ТРАНСПОРТНИМ ЗАПІЗНЮВАННЯМ .....	149
<b>Козачишен В. А., Ізюмов Ю. В.</b> МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РУХУ ГРУДОЧКИ ШИХТИ В ОГРУДКУВАЧІ БАРАБАННОГО ТИПУ .....	154
<b>Козиряцький Л. М., Рутковський Ю. О., Чебан В. Г., Рутковський О. Ю., Жудін П. Є.</b> ДО ПРОБЛЕМИ ВИНИКНЕННЯ ТА ВПЛИВУ КОЛИВАНЬ ТИСКУ НА РОБОТУ ЕРЛІФТНОГО ГІДРОПІДЙОМНИКА З ЕЛЕМЕНТАМИ СТРУМИННОГО АПАРАТУ ПРИ МАЛИХ ВІДНОСНИХ ЗАНУРЕННЯХ ЗМІШУВАЧА .....	157
<b>Долголаптев В. М., Козачишена О. С.</b> ОЦІНКА ВПЛИВУ УМОВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ СКЛА .....	163
<b>Мосягін М. О., Чекалов О. М., Ткачова О. С., Мосягін М. О.</b> ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗУБЧАСТИМИ ВІНЦЯМИ НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНИХ АВТОМАТАХ .....	168
<b>Славгородський В. П., Бревнов О. А.</b> МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРОЛЕЙБУСНОГО ПАРКУ ШЛЯХОМ УСТАНОВЛЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ГІДРОТРАНСМІСІЇ НА БАЗІ ТРОЛЕЙБУСА ЗиУ-9 (682-Б) .....	174

## ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

<b>Белозерцев О. В., Белозерцев Р. В.</b> ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ НА ВУГЛЕДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ РОБОТИ .....	185
<b>Дьячкова В. В., Валішин Р. Д.</b> МОДЕЛЬ ОЦІНКИ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВУГЛЕДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ .....	193
ВИМОГИ ДО РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ У ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ДонДТУ..	202

## CONTENT

### GEOSCIENCES

<b>Klischin N. K., Kasiian S. I., Chepurnoi D. S.</b> INVESTIGATION THE PROPERTIES OF FRACTURE-INDUCED ROOFS CONSIDERING THEIR STRENGTHENING IN MINE WALL FACE .....	5
<b>Kasiian S. I., Kiziiarov O. I.</b> INFLUENCE OF WIDTH OF UNLOADING BELT ON STRESS-STRAIN MODE OF ROCKS AROUND DEVELOPMENT WORKING .....	12
<b>Denisenko V. P.</b> IMPROVING THE CALCULATION PROCEDURE OF MAXIMUM PERMITTED LOAD ON A LONGWALL ON GAS RATIO AND WAYS FOR OVERCOMING GAS BARRIER OF WORKING AREA .....	18
<b>Shulgin P. N.</b> SUBSTANTIATION OF A NEW DESIGN TECHNIQUE FOR PASSPORTS ON DRILLING- AND-BLASTING OPERATIONS USING COMPUTER .....	27
<b>Averin G. A., Filoniuk Yu. V.</b> FLOW DIAGRAM OF ASSEMBLY AND DISASSEMBLY WORKS OF LONGWALL FACE INSTALLATION .....	33
<b>Averin G. A., Larchenko V. G., Koretskaia E. G.</b> INFLUENCE OF HARD ROCKS ON MAXIMUM EARTH CRUST SUBSIDENCE IN THE CONDITIONS OF FRUNZE MINE .....	40
<b>Larchenko V. G., Matalkina Yu. A.</b> DEPENDENCE OF MAXIMUM SURFACE SUBSIDENCE ON MAIN DETERMINING FACTORS .....	45

### METALLURGY AND MATERIAL SCIENCES

<b>Novohatskyi A. M., Dimentiev A. O., Filippenko D. G., Blinov A. M.</b> AGGLOMERATION OF IRON-BEARING WASTES OF FERROUS METALLURGY .....	55
<b>Kuberskiy S. V., Maksaiev Ye. N.</b> INFLUENCE OF VORTEX FORMATION EFFECT ON PARAMETERS OF CONTINUOUS CASTING PROCESS .....	61
<b>Rusanov I. F., Rusanova N. I.</b> INFLUENCE OF GRAIN SIZE OF POLYFRACTION LOOSE MATERIAL ON GAS- DYNAMIC LAYER RESISTANCE .....	69
<b>Romanchuk A. N.</b> EFFICIENCY ASSESSMENT FOR DIFFERENT CUT-OFF SYSTEMS FOR FINAL CONVERTER SLAG .....	74
<b>Mitichkina N. G., Tokarev A. V.</b> DETERMINING THE OPTIMUM PARAMETERS FOR PRODUCING CIRCULAR BILLETS FROM SQUARE BILLETS FOR FURTHER DRAWING BY PUNCHING THROUGH BURNISHING USING FINITE ELEMENTS MODELING .....	79
<b>Goreckiy Yu. V., Denishchenko P. N.</b> ACCOUNTING OF ELASTIC COMPONENT OF DEFORMATION AT HIGH BREAKDOWN ROLLING .....	87
<b>Romanchuk Ya. A., Gorchakov A. R.</b> INVESTIGATION OF MIXING PROCESS FOR METAL AND SINTER USING A PHYSICAL MODEL OF CASTING LADLE .....	96

## CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

<b>Drozd G. Ya.</b> STRATEGY AND ALGORITHM FOR MODERNIZATION OF LIFE-SUPPORT PIPELINES..	105
<b>Bratchun V. I., Drozd G. Ya., Bizirka I. I.</b> COMPARATIVE ANALYSIS OF ASPHALT CONCRETE CONTAINING ORGANIC-AND-MINERAL POWDER AND LIMESTONE MINERAL POWDER .....	117
<b>Drozd G. Ya., Khvortova M. Y.</b> HEAT AND WATER PIPELINES AS THE OBJECTS OF PARTICULAR ATTENTION .....	122

## MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

<b>Mikhailov A. N., Tarovik A. B.</b> REDUCING A CUTTING POWER WHEN TURNING THE THIN-WALLED CYLINDRICAL ITEMS USING TOOL ULTRASONIC VIBRATIONS .....	143
<b>Zotov V. A.</b> THE TECHNIQUE OF ANALYTICAL CALCULATION FOR REACTIONS OF SYSTEMS WITH TRANSPORTATION LAG .....	149
<b>Kozachishen V. A., Iziumov Yu. V.</b> THE MODEL OF BURDEN LUMP MOVING PROCESS IN DRUM-TYPE PELLETIZER .....	154
<b>Kozyriatskiy L. N., Rutkovskiy Yu. A., Cheban V. G., Rurkovskiy A. Yu.</b> THE PROBLEM OF OCCURRENCE AND INFLUENCE OF PRESSURE FLUCTUATIONS ON AIRLIFT HYDRAULIC JACK OPERATION WITH ELEMENTS OF JET DEVICE AT SMALL IMMERSION RATIO OF A MIXER.....	157
<b>Dolgolaptev V. M., Kozachishena E. S.</b> ESTIMATION THE INFLUENCE OF AMBIENT CONDITIONS ON GLASS STRENGTH PROPERTIES .....	163
<b>Mosiagin N. A., Chekalov A. N., Tkacheva E. S., Mosiagin N. A.</b> TOOTHED PARTS CUTTING WITH AUTOMATIC TURRET MACHINES .....	168
<b>Slavgorodskii V. P., Brevnov A. A.</b> MODERNIZATION OF A TROLLEYBUS DEPOT THROUGH SETTING UP A VOLUMETRIC HYDRAULIC TRANSMISSION ON TROLLEYBUS ZiU-9 SERIES (682-B)..	174

## ECONOMICS

<b>Belozercev O. V., Belozercev R. V.</b> COST SAVING AT COAL MINING ENTERPRISES AS AN INSTRUMENT FOR INCREASING THEIR WORKING EFFICIENCY .....	185
<b>Diiachkova V. V., Valishin R. D.</b> ASSESSMENT MODEL OF COMPETITIVENESS OF COAL MINING ENTERPRISES .....	193
REQUIREMENTS TO SCIENTIFIC ARTICLES IN COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS OF DonSTU .....	202

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 4 (47) 2016

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

---

*Свідоцтво Міністерства інформації,  
друку і масових комунікацій ЛНР про  
державну реєстрацію засобу масової  
інформації МІ-СГР ПІ 000003  
від 05.02.2016*

*Рекомендовано вченою радою  
ДСУВПО ЛНР «ДонДТУ»  
(Протокол № 4 від 30.12.2016)*

*Включений до наукометричної бази  
даних РИНЦ*

---

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Ум. друк. арк. 26.  
Зам. 1

Наклад 100 пр.

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

Адреса редакції, видавця  
та виготовлювача:

ДСУВПО 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**

Новохатський А. М. — д.т.н., проф.

**Редакційна колегія:**

Литвинський Г. Г. — д.т.н., проф.

Фінкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнєєв С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. О. — к.т.н.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницький В. Н. — к.т.н., проф.

Зелінський А. М. — к.т.н.

Куберський С. В. — к.т.н., проф.

Денищенко П. М. — к.т.н.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух М. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н.

Псюк В. В. — к.т.н.

Коваленко Н. В. — д.е.н., проф.

Гришко Н. В. — д.е.н., проф.

Бізянов Е. Е. — д.е.н., проф.

Скомська С. А. — секретар редакційної колегії.

Для наукових співробітників, аспірантів,  
студентів вищих навчальних закладів

**Мова видання:**

російська, українська та англійська

Ісмаїлова Л. М. — коректор

© ДСУВПО ЛНР «ДонДТУ», 2016

© Чернишова Н. В., художнє

оформлення обкладинки, 2016

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 4 (47)2016

**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*

*Recommended by academic council of  
DonSTU  
(Record № 4 dated 30.12.2016)*

*Added to scientometrical data base of  
RSCI*

---

Format 60×84%.  
Conventional printed sheet 26  
Order № 1  
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**

Novohatskyi A. M. — Doctor of tech. sc., prof.

**Editorial board:**

Litvynskyi 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  
Kuberskyi S. V. — PhD in Engineering, prof.  
Denisschenko P. N. — PhD in Engineering  
Drozd G. Ya. — Doctor of tech. sc., prof.  
Sholukh N. V. — Doctor of arch., prof.  
Bondarchuk V. V. — PhD in Engineering  
Psjuk V. V. — PhD in Engineering  
Murga V. V. — PhD in Engineering  
Stoliarov V. N. — PhD in Engineering  
Ushakov V. I. — PhD in Engineering  
Kovalenko N. V. — Doctor of tech. sc., prof.  
Grishko N. V. — Doctor of tech. sc., prof.  
Bizianov E. E. — Doctor of tech. sc., prof.  
Skomskaia S. A. — Secretary to the editorial board.

For research scientists, PhD seekers, students of higher  
educational institutions.

Issue language:  
Russian, Ukrainian, English

Ismailova L. M. - proofreader

© SEIHPE «DonSTU», 2016  
© Chernyshova N.V., graphic  
cover design, 2016