

ДОНБАССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Выпуск 17 (60) 2019



СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**Сборник
научных трудов
Донбасского государственного технического
университета**

Сборник
Выходит 1–4 раза в год
Основан в июне 1999 г.
Выпуск 17 (60) 2019

**Збірник наукових праць
Донбаського державного технічного університету**

Збірник
Виходить 1–4 рази на рік
Заснований у червні 1999 р.
Випуск 17 (60) 2019

Collection of Scientific Papers of DonSTU

Collection
Publishing 1–4 times a year
Founded in June 1999
Issue 17 (60) 2019

Алчевск
2019

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

**Сборник научных трудов
Донбасского государственного
технического университета**

Сборник

Выпуск 17 (60) 2019

**Основатель:
Донбасский государственный технический
университет**

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

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

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

*Рекомендовано учёным советом
ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»
(Протокол № 5 от 27.12.2019)*

Включён в наукометрическую базу данных РИНЦ

Формат 60×84½
Усл. печат. л. 16,5
Заказ № 312
Тираж 100 экз.

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

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

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

ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ ЦЕНТР,
ауд. 2113, т./факс 2-58-59
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя
и распространителя средства массовой информации
МИ-СГР ИД 000055 от 05.02.2016

Главный редактор

Зинченко А. М. — к.э.н., ректор

Заместитель главного редактора

Куберский С. В. — к.т.н., проф.

Редакционная коллегия:

Литвинский Г. Г. — д.т.н., проф.

Финкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнеев С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. А. — к.т.н., доц.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницкий В. Н. — к.т.н., проф.

Зелинский А. Н. — к.т.н., проф.

Должиков В. В. — к.т.н., доц.

Денищенко П. Н. — к.т.н., доц.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух Н. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н., доц.

Псюк В. В. — к.т.н., доц.

Скомская С. А. — секретарь редакционной
коллегии

Для научных сотрудников, аспирантов,
студентов высших учебных заведений.

Язык издания:

русский, украинский и английский

Компьютерная вёрстка и корректура
Исмаилова Л. М.

© ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019

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

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

GEOSCIENCES

УДК 622.28

проф. Литвинский Г. Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, ligag@ya.ru)

ШАХТНАЯ ТРУБОБЕТОННАЯ СТОЙКА (СТБ)

Дан аналитико-исторический обзор существующих конструкций шахтных стоек как основного элемента крепи горных выработок. Выявлены основные особенности конструкции и недостатки шахтных стоек. Сформулированы основные технические требования при их конструировании. Предложена новая конструкция податливой шахтной стойки из трубобетона. Приведены главные технико-экономические показатели новой шахтной стойки и целесообразная область её применения.

Ключевые слова: подготовительные выработки, крепление, шахтная стойка, трубобетон, критерии эффективности, узел податливости, работоспособность, предварительный распор, параметры стойки.

1 Актуальность и цель исследований

Шахтные стойки при ведении подземных работ появились ещё в доисторические времена и уже с V–IV тысячелетия до нашей эры стали простейшей и самой доступной конструкцией крепи, они положили начало и стали базой для развития этого направления горной техники и технологии. Исторически появление стойки как элемента крепи было обусловлено стремлением к защите подземных рабочих от вывалов породы с кровли горных выработок. Хотя несущая способность таких стоек была весьма ограниченной, их использование при сооружении горных выработок быстро расширялось по мере увеличения глубины ведения горных работ и усложнения горно-геологических условий. Позже для повышения безопасности стойки стали устанавливать под горизонтальную поперечину (верхняк).

Уже в капитальном энциклопедическом труде Георгия Агриколы [1] приведено описание крепления подземных выработок с упоминанием деревянных стоек как несущих элементов крепи (рис. 1). Только в середине XIX века после развития металлургии и начала производства металлопроката в Чехии и Германии впервые появляются стальные рамные крепи из двутавра и рельса.



Рисунок 1 Иллюстрация крепления подземных выработок в средние века [1], где А — деревянные стойки в штольне

В стальные рамы начали вводить шарниры, благодаря чему крепи получили массовое применение на угольных шахтах Англии и Германии. В 1932 г. в фирме «Тессен-Хейнцман» разработали парные желобчатые профили и податливое соединение стоек и верхняков, после чего начала массово применяться податливая крепь [2]. В Донбассе стальную крепь начали использовать в подготовительных выработках с 1937 г., раздвижные стойки конст-

рукции ВУГИ внедрялись в лавах с 1939 г., а в 1940 г. для крепления кровли лав уже в 213 очистных забоях Донбасса применялись стальные стойки [3, 4].

В институте ДонУГИ в начале 1950-х гг. были разработаны прокатный профиль СВП и отечественные конструкции металлической рамной крепи. В 1955 г. ею было закреплено 27 % всех протяжённых выработок, а в настоящее время — более 90 %. В податливых крепях основную роль выполняет узел податливости, который устанавливают на стыке верхняка и стойки крепи. Разработки различных модификаций стальной крепи и основных её элементов (узлов податливости, затяжки, межрамных стяжек и др.) были отражены в десятках изобретений и проектных разработок [2]. Уже к 40-м годам прошлого столетия было предложено около полусотни конструкций металлических раздвижных стоек крепи, которые воспринимали давление пород за счёт сопротивления сил трения в замковых частях. К настоящему времени число патентов на стойки превысило сотню.

Такое многообразие конструкций наглядно свидетельствует об отсутствии общепринятой идеи, воплощённой в оптимальное устройство, что вызывало непрекращающийся конструкторский поиск, который продолжается донныне.

Несмотря на многочисленные предложения и разработки по совершенствованию крепи, главный вектор инерции мышления в этой области, заданный около века назад немецкими проектами специального корытного профиля проката для крепи, оказался непреодоленным.

Это свидетельствует о том, что проблема разработки новых конструкций крепи для подготовительных горных выработок остаётся актуальной для горной промышленности. И в первую очередь следует обратить внимание на разработку основного несущего элемента крепи — стойки. Шахтные стойки как исторически исходная конструкция могут быть использованы не

только в рамной крепи подготовительных горных выработок, но и как индивидуальная крепь очистных забоев [5, 6], а также как крепь усиления для поддержания, охраны подготовительных горных выработок в зонах временного и неустановившегося опорного давления вблизи лавы.

Целью исследования является разработка требований, критериев эффективности и новой конструкции шахтной стойки универсального применения.

Идея работы состоит в создании новой конструкции раздвижной шахтной стойки, снабжённой усиленным узлом податливости и распорным устройством, с использованием преимуществ трубобетона, прогрессивного в строительстве.

Объектом исследования являются шахтные стойки и их технико-экономические показатели, **предмет** исследований — закономерности взаимодействия и параметры конструктивных элементов новой стойки в режиме податливости.

Исходя из этого, **задачами исследования** являются:

- 1) сравнение различных типов стоек на основе предложенных критериев их технической эффективности;
- 2) анализ типов пригодных для изготовления стоек открытых и замкнутых прокатных профилей с позиций жёсткости и устойчивости;
- 3) предложение новой конструкции телескопической податливой шахтной стойки на основе сформулированных требований;
- 4) разработка математической модели расчёта нового узла податливости для шахтной стойки;
- 5) оценка эффективности предложенной стойки и области возможного её применения.

Несмотря на достаточно узкую область выбранных исследований, решение поставленных задач позволит систематизировать, упорядочить и провести сравнительную оценку существующих и разработать новые конструкции шахтных телескопических податливых стоек.

2 Обоснование основных требований к шахтным стойкам

Среди всех крепей следует выделить две базовых конструкции: стойку и анкер. Они расположены с противоположных концов вектора исторического развития конструкций шахтной крепи, а именно — в его начале и в конце. Их объединяют такие сходные качества:

1) оптимальная работа лишь под действием осевой нормальной силы (для стойки — сжатие, для анкера — растяжение);

2) возникновение изгибающих моментов или поперечных сил является крайне нежелательным;

3) нуждаются в создании предварительно го распора (преднапряжения) при установке;

4) податливый режим работы при взаимодействии с массивом пород;

5) точечное взаимодействие с породным контуром горной выработки, поэтому для предотвращения вывалов породы на соседних с крепью участках обе конструкции нуждаются в ограждении породного контура (затяжке).

Однако имеются и значительные отличия стойки и анкера:

1) если стойка предназначена для восприятия сжимающей нормальной силы, то анкер является единственной конструкцией крепи, которая работает на «чистое» растяжение;

2) стойка всегда располагается внутри горной выработки и имеет два контакта на породном контуре, а анкер, напротив, размещён в окружающем выработку массиве горных пород с одним контактными участком на контуре выработки, поэтому условно можно считать, что по воздействию на породный контур одна стойка конструктивно равна двум анкерам;

3) одним из самых опасных для стойки состояний является появление эксцентриситета у продольной силы, что приводит к изгибу и последующей потере её устойчивости, тогда как у анкера этот эксцентриситет при увеличении нагрузки уменьшается и не опасен;

4) у стойки необходимо обеспечить шарнирный распор обеих её концов на породе для исключения эксцентриситета нагружения, что для анкера необязательно, и его концы взаимодействуют с породой в жёстко защемлённом состоянии;

5) критическим предельным состоянием для стойки является потеря продольной устойчивости (по Эйлеру), тогда как анкер разрушается при наступлении первого предельного состояния путём разрыва штанги с образованием «шейки».

Обратим внимание на то, что горные специалисты в последнее время усиленно совершенствовали анкерную крепь, и она получила значительное развитие, пройдя путь от клиновых до клеенных в породный массив конструкций. Однако шахтные стойки до сих пор сохранили традиционные решения, и наблюдается определённый застой в их развитии.

Область применения шахтных стоек весьма обширна: их используют как временные и постоянные элементы крепи при сооружении капитальных и подготовительных горных выработок, в очистных выработках и на сопряжениях лавы. Этим обусловлен такой спрос на различные типы шахтных стоек.

Эти стойки вначале изготавливались в виде деревянных опор, а затем — как элемент рамной крепи (рис.1, 2). Деревянные стойки воспринимали нагрузку от верхняка, который должен был противостоять весу разрушенных пород в кровле горной выработки. Таким образом, деревянная рама обладала достаточно жёсткими деформационно-силовыми характеристиками, обусловленными отсутствием податливости у стоек, что заставляло её работать в режиме заданных нагрузок (вес вывалов, свода естественного обрушения и пр.). Даже попытки придать стойкам некоторую податливость путём затачивания их нижних концов «под карандаш» не могли спасти положение. При этом грузонесущая способность стоек оказывалась на порядок (в 10...15 раз) выше, чем у верхняка, рабо-

предварительный распор и постоянное сопротивление при нагрузке от 150 до 300 кН, их легко устанавливать и выводить из-под нагрузки. Однако этой разновидности стоек присущи высокая стоимость изготовления и эксплуатации, они более сложны по конструкции.

Technical drawing of a rectangular metal structure, likely a furnace or boiler, showing dimensions and internal components. The drawing includes a top view and a side view.

Top View Dimensions:

- Overall width: 2220
- Overall height: 2820
- Internal width (excluding side panels): 1760
- Internal height (excluding top and bottom panels): 2270
- Distance from left side panel to center of circular opening: 700
- Distance from center of circular opening to right side panel: 1000
- Distance from center of circular opening to right edge of internal frame: 250
- Radius of circular opening: $\phi 180$
- Angle of side panel: 83°
- Distance from bottom edge of side panel to base: 1600
- Distance from base to bottom edge of side panel: 2430
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal): 1800
- Distance from base to bottom edge of side panel (external): 2820
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal, excluding base panel): 1300
- Distance from base to bottom edge of side panel (external, excluding base panel): 2270
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal, excluding base panel, excluding side panel): 1300
- Distance from base to bottom edge of side panel (external, excluding base panel, excluding side panel): 2270
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal, excluding base panel, excluding side panel, excluding base panel): 1300
- Distance from base to bottom edge of side panel (external, excluding base panel, excluding side panel, excluding base panel): 2270

Side View Dimensions:

- Overall height: 2430
- Internal height: 2270
- Distance from top edge to center of circular opening: 250
- Distance from center of circular opening to bottom edge: 1000
- Distance from center of circular opening to right edge of internal frame: 250
- Radius of circular opening: $\phi 180$
- Angle of side panel: 83°
- Distance from bottom edge of side panel to base: 1600
- Distance from base to bottom edge of side panel: 2430
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal): 1800
- Distance from base to bottom edge of side panel (external): 2820
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal, excluding base panel): 1300
- Distance from base to bottom edge of side panel (external, excluding base panel): 2270
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal, excluding base panel, excluding side panel): 1300
- Distance from base to bottom edge of side panel (external, excluding base panel, excluding side panel): 2270
- Distance from base to bottom edge of side panel (internal, excluding base panel, excluding side panel, excluding base panel): 1300
- Distance from base to bottom edge of side panel (external, excluding base panel, excluding side panel, excluding base panel): 2270

Податливость клиновых стоек создаётся за счёт сил трения, возникающих в замке при скольжении выдвижной части стойки относительно неподвижной. Много усилий было потрачено на разработку узлов податливости стоек трения и к настоящему времени предложено несколько десятков работоспособных конструкций. Их минусами являются недостаточное трение в замках податливости, которое зависит от неконтролируемого усилия забивки клина, и невозможность первоначального распора между кровлей и почвой без дополнительных механизмов. Однако эти стойки обладают значительной раздвижностью и поэтому удобны для перестановок и повторного использования. Кроме того, при высоких усилиях расклинивания узла податливости такие стойки при сравнительно небольшом весе имеют высокий критерий технической эффективности, достигающий до 70...80 % [7]. Рабочее сопротивление стоек находится в пределах 150...300 кН.

8



Рисунок 4 Стойки гидравлические СУГ-М, ГВП и ГВПУ (Точмаш, ОАО)

Опираясь на рекомендации работы [7], для проведения сравнительной оценки технического уровня рассмотрим основные требования, которым должны отвечать шахтные стойки. Эти требования целесообразно сформулировать главным образом на основе особенностей функционального использования стоек в качестве самостоятельного или конструктивного элемента крепи. А такое использование предполагает в первую очередь контактное взаимодействие стойки с массивом горных пород, что предопределяет наиболее важные требования к ним из условий деформационно-силового взаимодействия с массивом горных пород.

Силовое взаимодействие с породным массивом предполагает следующие требования:

- высокую грузонесущую способность;
- рабочее сопротивление конструкции должно быть близким к предельной несущей способности крепи — не ниже 80 %;
- возможность предварительного распора и обеспечение его максимального значения;
- минимизация концентрации напряжений на участке контакта крепи, например концов стойки, с массивом горных пород;
- быстрый набор рабочего сопротивления при нагрузке со стороны пород;
- простая и удобная разгрузка крепи от внешнего давления при её извлечении;

– возможность контроля усилий на контакте «крепь–массив» и управления ими.

Для обеспечения деформационного взаимодействия с массивом горных пород стойки должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать максимально возможную раздвижность при установке, чтобы обеспечить нужный запас податливости;
- иметь плавную, без рывков и ударов податливость под действием нагрузки, превышающей уровень рабочего сопротивления;
- при исчерпании запаса податливости перейти в жёсткий режим работы с предельным усилием отпора;
- сохранять продольную устойчивость сжатых элементов (стоек, стен) под нагрузкой;
- не деформировать (сминать или раздавливать) породы на контакте с опорами.

Сформулированные требования относятся лишь к деформационно-силовым характеристикам стоек, которые отражают эксплуатационно-функциональные особенности их работы при взаимодействии с породным массивом. Они нуждаются в дополнении технико-экономическими показателями для полноты рассмотрения и достоверного суждения при сравнении и выборе возможных конструкций крепи.

Для сравнительной оценки различных крепей нами предложен ряд нормированных технических критериев эффективности [7]:

- деформационный критерий:

$$K_D = 2 \frac{U}{L} \cdot 100\%; \quad (1)$$

- силовой критерий:

$$K_F = \frac{\gamma \cdot F_k}{[\sigma] \cdot M_k} \cdot 100\%; \quad (2)$$

- критерий работоспособности:

$$K_W = K_F \cdot K_D = 2 \frac{\gamma \cdot F_k}{[\sigma] \cdot M_k} \cdot \frac{U}{L} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где U_i — конструктивная податливость крепи в заданном направлении смещений $i = 1, 2 \dots n$ (вертикальном, наклонном, горизонтальном и т. д.), м;

L_i — линейный размер крепи до реализации податливости в направлении смещений породного контура, м;

γ — плотность материала крепи, кг/м³;

$[\sigma]$ — предел прочности материала крепи на один из видов нормативных нагрузок (одноосное сжатие или растяжение, изгиб и др.), действующих на крепь, кПа;

F_k — грузонесущая способность (рабочее сопротивление) крепи, кН;

M_k — масса крепи (рамы или 1 м сплошной крепи), кг.

В таблице 1 приведены вычисленные по формулам (1–3) НКТЭ для различного типа шахтных стоек.

Из данных таблицы 1 следует, что все стойки без конструктивных элементов податливости (позиции 1, 2) по критерию работоспособности на порядок уступают шахтным стойкам, обладающим конструктивной раздвижностью. Однако и у этих стоек НКТЭ работоспособности составляет всего лишь порядка 10 % от теоретически возможных 100 %.

Таблица 1

Критерии НКТЭ шахтных стоек

№ п/п	Название крепи	НКТЭ %		
		K_F	K_D	K_W
1	Стойка дерев. d=24 см	8	7	3
2	Стойка стальная из СВП-27	1	67	1
3	Гидростойка 2ГСК-13	19	53	10
4	Гидростойка 2ГВС13	21	53	11
5	Гидростойка 2ГВТ4	25	38	9
6	Стойка трубчато-желобчатая 9Т25Ж	17	71	12
7	Угловая стойка трения 8Т20У	16	72	12
8	Стойка трения 6Т20	17	80	13
9	Гидростойка (ГСУМ)1	16	81	13
10	Угловая стойка трения 1Т15У	12	71	9

Следовательно, надо признать, что, во-первых, применения стоек с жёсткой деформационно-силовой характеристикой следует всемерно избегать, и, во-вторых, даже лучшие конструкции шахтных стоек с высокой податливостью имеют большой резерв совершенствования.

В первую очередь главным направлением повышения работоспособности шахтных стоек, исходя из анализа данных таблицы 1, является улучшение их силового критерия, что требует пересмотра привычных приёмов и шаблонов их конструирования. Особенно это касается узлов податливости, рабочее сопротивление которых намного ниже несущей способности главных элементов стоек.

3 Разработка новой конструкции трубобетонной стойки

Неизменным атрибутом стальной крепи подготовительных горных выработок остаётся корытный профиль и податливое соединение между основными несущими элементами — стойками и верхняком. Следствием такой, чаще всего неосознанной, инерционной «традиции» в технике становится целый набор недостатков, присущий этому типу крепления, главными из которых являются:

– использование корытообразного прокатного профиля для основных силовых элементов — верхняка и стоек, легко теряющего местную и общую устойчивость при нагрузке;

– работа элементов крепи главным образом на изгиб, что ведёт к высокой неравномерности распределения усилий между ними;

– низкое рабочее сопротивление существующих узлов податливости, их неравномерная работа и низкая надёжность.

На преодоление этих недостатков и были направлены основные конструкторские разработки для стальных рамных крепей.

При рассмотрении индивидуальных стоек с самого начала исключим из возможных прототипов новой конструкции известные типы гидростоек из-за их высокой стоимости, сложности ремонта и об-

служивания. Ограничимся рассмотрением не менее работоспособных и обладающих высокими НКТЭ стоек трения.

При этом, исходя из ранее сформулированных требований к деформационно-силовым характеристикам, отметим наиболее существенные недостатки этих стоек:

- сложные конструкции клиновых узлов податливости, что существенно повышает стоимость изготовления и ремонта;

- существующие узлы податливости заметно (в разы) снижают грузонесущую характеристику стойки;

- ограничение работоспособности стоек из-за возможной потери общей (по Эйлеру) и местной устойчивости тонкостенных элементов.

Для достижения поставленной цели максимального увеличения рабочего сопротивления стойки полезно уяснить, что главной причиной его низкого значения является недостаточно высокое сопротивление узла податливости. В качестве базовой примем основную идею осуществления податливости за счёт преодоления сил трения между выдвижной (штоком) и неподвижной (корпусом) частями стойки.

Нагрузка, которую может воспринять шахтная стойка, определяется величиной силы трения между корпусом стойки и её выдвижной частью. Чтобы обеспечить нужную величину сил трения, их создают различным образом: установкой между выдвижной частью и корпусом особых прокладок с высоким коэффициентом трения, приданием волнистости или шероховатости контактной поверхности между корпусом и выдвижной частью и пр.

Особенно большие усилия конструкторов были затрачены на разработку узлов податливости в виде зажимных устройств-замков, предназначенных для создания и регулирования силы сопротивления опусканию штока стойки.

Поскольку силы трения линейно зависят от числа поверхностей трения и величины усилий их прижатия, именно эти особенности и следует положить в основу

новой стойки трения. При этом необходимо, чтобы в новой конструкции:

- поперечный профиль стойки был выполнен из стандартных круглых труб;

- был бы простой и надёжный узел предварительного распора;

- податливость стойки была не менее её максимальной раздвижности;

- было увеличенное число поверхностей трения для обеспечения наибольшего сопротивления податливости;

- удобно осуществлялись быстрый монтаж и демонтаж;

- имелась возможность многократного повторного использования.

С учётом сделанных замечаний и сформулированных требований была разработана конструкция новой стойки трения.

Стойка КСТ по конструкции относится к раздвижным податливым стойкам, работающим по принципу трения, а по рабочей характеристике — к стойкам постоянного сопротивления.

Стойка КСТ (рис. 5) состоит из корпуса 1, штока (выдвижной части) 2 и узла податливости (замка).

Корпус 1 стойки изготовлен из трубного профиля. Верхняя часть корпуса 1 снабжена продольными прорезями 2, на которые установлен замок (узел податливости) в виде обоймы 3 с резьбовыми отверстиями, куда ввинчены силовые болты 4. Нижняя часть корпуса снабжена внутренней резьбой 5, на которую ввинчена трубная втулка 6, приваренная к нижней опоре 7. На ней предусмотрены отверстия 8 для создания предварительного распора стойки между кровлей и почвой при установке путём вращения опоры 7 посредством рычага (не показан). В корпус 1 вставлен шток 9 как выдвижная часть стойки в виде трубы. Труба штока снабжена приваренным днищем 10 и заполнена бетоном 11.

Таким образом, используется не пустая труба, а трубобетон, что даёт значительные преимущества при обеспечении жёсткости и несущей способности. На верхний конец штока 9 установлена опора 12.

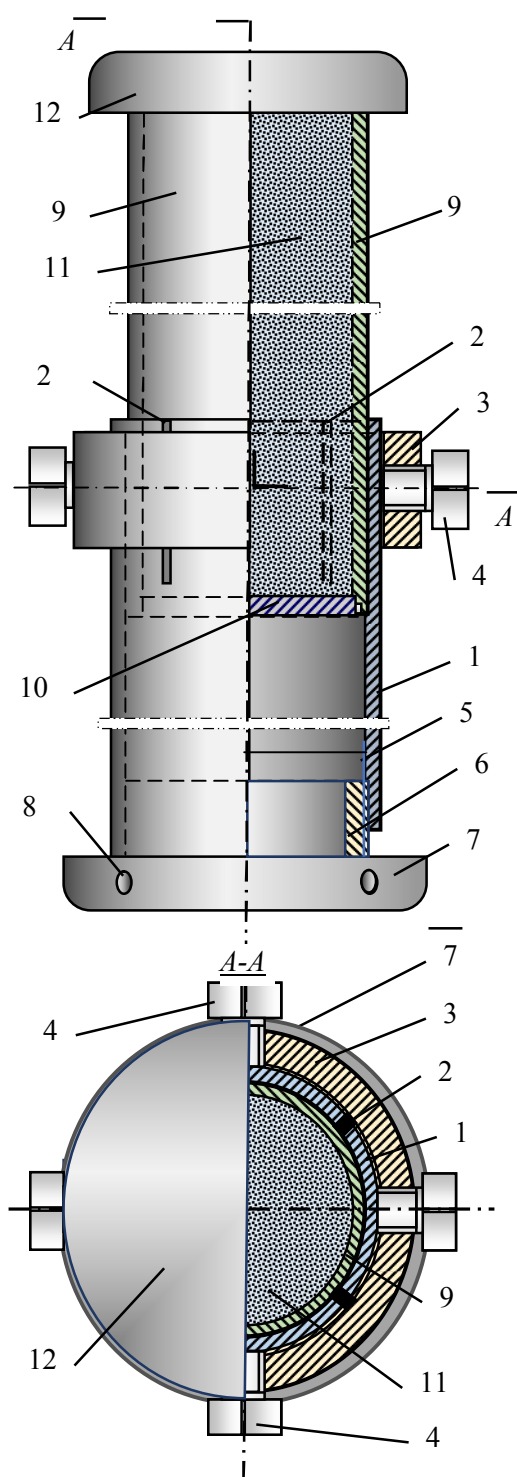


Рисунок 5 Конструкция трубобетонной стойки трения постоянного сопротивления (СТБ)

Принцип работы стойки следующий. Стойку доставляют в подготовительную выработку в полностью собранном виде с узлом податливости, силовые болты 4 ко-

торого с заданным усилием расперты между обоймой 3 и верхней частью корпуса с прорезями 2. Тем самым создаются радиальные силы, зажимающие шток 9 в верхней части корпуса 1. Стойку устанавливают по нормали между кровлей и почвой, затем производят её предварительный распор путём вращения нижней опоры 7 с помощью рычага, вставленного в отверстия 8.

При нагрузке на стойку со стороны пород шток 9 удерживается силами трения, возникающими в результате зажатия верхней части трубы корпуса 1 симметрично размещёнными силовыми болтами 4, взаимодействующими с обоймой 3. Пока нагрузка на стойку не превышает её рабочее сопротивление, заданное силовыми болтами 4, стойка работает в упругом режиме. Как только нагрузка окажется равной рабочему сопротивлению стойки, начинается её работа в податливом режиме путём проскальзывания штока 9 относительно верхней части корпуса 1 в узле податливости с преодолением сил сопротивления трения. Деформирование стойки происходит при постоянном рабочем сопротивлении на всём пути запаса податливости, длина которого может достигать почти половины высоты стойки.

Новый узел податливости, благодаря своему конструктивному решению в виде обоймы 3 с зажимными болтами 4, обеспечивает непосредственную передачу нагрузки за счёт сил трения от штока 9 на корпус 1. В процессе проскальзывания штока 9 относительно верхней части корпуса 1 сохраняется неизменным распределение нормальных и касательных усилий на всём пути перемещения штока 9 по корпусу 1. Поэтому перекосы, рывки и неравномерности в работе стойки отсутствуют.

Поскольку шток выполнен как трубобетонная конструкция, достигается возможность существенного повышения несущей способности штока за счёт совместной работы стальной трубы и бетона в ней [8]. В частности, предельное усилие сжатия трубобетона увеличивается в 2–3 раза, глав-

ным образом за счёт повышения сопротивления потере продольной (по Эйлеру) и местной (изгиб стенки) устойчивости.

Кроме того, чтобы преодолеть главный недостаток существующих узлов податливости, связанный с невозможностью повышения сжимающих усилий от болтов 4 на шток 9 из-за деформации трубы, шток заполняется бетоном и болты 4 располагаются симметрично, что позволяет повысить сопротивление трубы их вдавливанию и полностью использовать усилие давления болтов.

Прорези 2 в верхней части корпуса 1 длиной 1,2..1,3 высоты обоймы 3 обеспечивают нестеснённое радиальное смещение образованных частей трубы корпуса при их сжатии болтами 4 узла податливости, что исключает снижение усилий обжатия штока 9 лепестками трубы корпуса.

Устройство предварительного распора стойки в виде приваренной к нижней опоре 7 трубной втулки 6 с внешней резьбой, которая вкручена в резьбу нижней части корпуса 1, обладает предельной простотой конструкции и позволяет не только регулировать длину стойки при её установке, но и создать предварительный распор, близкий к рабочему сопротивлению стойки.

Стойки устанавливают под металлические верхняки, деревянные распилы или штрипсы с затяжкой перпендикулярно плоскостям напластования, для чего они снабжаются соответствующими верхними опорами. Нижнюю опору стойки помещают на почву, очищенную от земника, кусков угля и породы.

4 Деформационно-силовые параметры трубобетонной стойки

Определим базовые параметры трубобетонной стойки, которые отражают особенности её конструкции: новый узел податливости, устройство предварительного распора и несущую способность труб корпуса и штока.

Согласно расчётной схеме действующих радиальных усилий от болтов 4 в кон-

струкции предлагаемого узла податливости (рис. 6), при движении штока относительно корпуса возникнут четыре силы трения F , которые создают рабочее сопротивление стойки N_C :

$$N_C = 4 \cdot f \cdot F, \quad (4)$$

где f — коэффициент сухого трения стали по стали, $f \approx 0,3$.

Для расчёта стойки следует задаться диаметром трубы корпуса D_k и определить требуемую её толщину δ_k исходя из условия работы корпуса 1 на сжатие:

$$\delta_k = k_1 \cdot N_C / (\pi \cdot D_k \cdot \sigma_t), \quad (5)$$

где k_1 — коэффициент запаса, учитывающий возможные отклонения от расчётной схемы, продольную гибкость трубы и её стенок, $k_1 > 1$;

σ_t — предел текучести стали, кПа.

Диаметр D_S штока 1 принимаем из условия его свободного прохождения в корпусе стойки с зазором $\delta_Z \approx 1...3$ мм:

$$D_S = D_k - 2(\delta_k + \delta_Z). \quad (6)$$

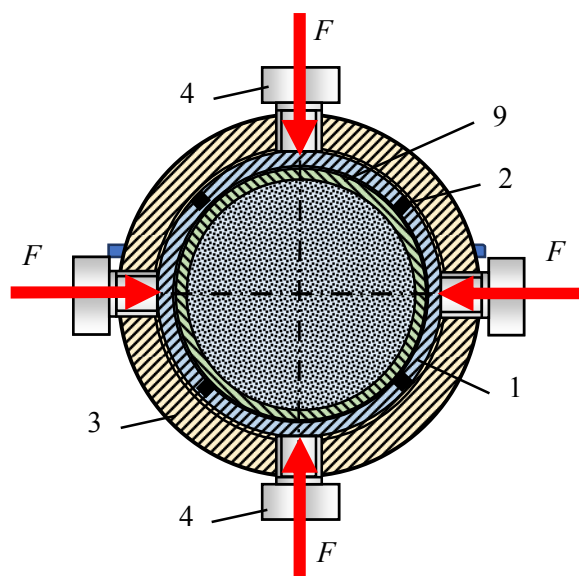


Рисунок 6 Расчётная схема усилий в узле податливости трубобетонной стойки трения

Толщину стенки δ_S штока находим по формуле, аналогичной (4), но с учётом несущей способности бетона на стеснённое сжатие R_6 внутри трубы штока с внутренним диаметром, равным $D_S - 2\delta_S$ из уравнения

$$k_2 \cdot N_C - \pi[D_S \cdot \delta_S \cdot \sigma_t + 0,25R_6 \cdot (D_S - 2\delta_S)^2] = 0. \quad (7)$$

Это нелинейное уравнение можно решить в блоке Solve пакета Mathcad или путём последовательных приближений.

Выбор параметров раздвижности стойки и соотношения длин корпуса и стойки производят исходя из конкретных горно-геологических условий. Так, например, при максимальной длине стойки 2,5 м и ожидаемых смещениях кровли выработки в пределах от 200 до 1000 мм целесообразно длину трубы корпуса принять равной 1,2 м, а длину штока — 1,5 м, чтобы обеспечить раздвижность стойки не менее 1000 мм.

Оценим рабочее сопротивление стойки, если её узел податливости будет снабжён болтами M24 класса 8 с шагом резьбы $h=2$ мм, несущая способность которых равна 340 кН. Тогда, подставляя эти исходные данные в формулу (4), получим:

$$N_C = 4 \cdot 0,3 \cdot 340 = 408 \text{ кН}. \quad (8)$$

Определим силу, которую надо приложить в конце затяжки каждого из болтов для создания необходимого усилия F_3 , для чего воспользуемся принципом возможных перемещений: при обороте болта на 2π радиан он передвинется вдоль оси на величину шага резьбы $h=2$ мм. Принимая длину плеча при затяжке болта $L_3=0,4$ м, получим исходное уравнение из равенства работ

$$2\pi \cdot F_3 L_3 = N_C \cdot h, \quad (9)$$

что после подстановки данных даст

$$F_3 = N_C \cdot h / 2\pi \cdot L_3 = 408 \cdot 0,002 / 2\pi \cdot 0,4 = 0,32 \text{ кН}. \quad (10)$$

Таким образом, силы $F_3=32$ кГс на рукоятке ключа оказываются вполне достаточно.

Определим возможность создания предварительного распора стойки, если считать, что он будет выполняться рычагом длиной $L_r=1$ м при шаге резьбы на трубной втулке, равном $h=4$ мм. Тогда, исходя из принципа возможных перемещений, к рычагу следует приложить усилие

$$F_3 = N_C \cdot h_r / 2\pi \cdot L_r = 408 \cdot 0,004 / 2\pi \cdot 1 = 0,26 \text{ кН}. \quad (11)$$

Следовательно, для предварительного распора стойки при её установке необходимо приложить к рычагу, вставленному в отверстие 8 нижней плиты 7, всего 26 кГс. Тем самым, стойка уже в момент монтажа будет обладать предварительным распором, равным расчётному рабочему сопротивлению, что наиболее эффективно с позиций управления горным давлением.

Используя полученные данные для новой стойки, можно определить показатели её технико-экономической эффективности согласно формулам (1–3):

– деформационный показатель:

$$K_D = 2 \frac{U}{L} \cdot 100\% = 2 \frac{1,0}{2,5} \cdot 100\% = 80\%;$$

– силовой показатель:

$$K_F = \frac{\gamma \cdot N_C}{[\sigma] \cdot M_C} \cdot 100\% = \frac{7,8 \cdot 40,8}{23,5 \cdot 10^3 \cdot 0,04} \cdot 100\% = 34\%;$$

– показатель работоспособности:

$$K_W = K_F \cdot K_D = 80 \cdot 35 / 100 = 28\%,$$

где $U=1,0$ м — конструктивная податливость крепи;

$L=2,5$ м — длина стойки;

$\gamma=7,8$ — плотность стали, т/м³;

$[\sigma]=23500$ — расчётное сопротивление проката из стали С235, т/м²;

$N_C = 40,8$ — рабочее сопротивление стойки, т;

$M_C = 0,04$ — масса стойки, т.

Сравнивая полученные показатели технической эффективности новой трубобетонной стойки трения с соответствующими показателями (табл. 1) существующих стоек трения и гидравлических стоек, можно видеть её очевидное преимущество по силовому критерию и показателю работоспособности в 2 и более раза ($K_F = 34 \% > 20...25 \%$, $K_W = 28 \% \gg 13 \%$).

Это доказывает перспективность использования предложенной стойки взамен существующих. Наиболее весомые преимущества этой шахтной стойки:

- предельная простота конструкции и возможность изготовления из стандартных деталей и труб;

- возможность многократного повторного использования с заранее предусмотренным замком и его рабочим сопротивлением;

- малая масса и размеры, что заметно снижает трудоёмкость и длительность процесса крепления;

- благодаря устройству предварительного распора упрощается монтаж-демонтаж стойки, она сразу выходит на податливый режим с предельным постоянным рабочим сопротивлением;

- трубобетон, из которого выполнен шток, позволяет придать ему высокую жёсткость сопротивления продольному изгибу, а также противостоять смятию под действием сжимающих нагрузок от силовых болтов;

- простота устройства узла податливости (замка) способствует высокой надёжности его работы на всех этапах деформирования пород;

- разные сменные конструкции верхней и нижней опор стойки дают возможность учесть всё многообразие горно-геологических условий её работы (прочность пород, угол падения, контактные неровности, различные комбинации с другими типами крепи и т. д.);

- широкая область применения для крепления, поддержания и охраны подготовительных горных выработок, пройденных по простиранию или падению пластов.

Принимая во внимание давно назревшую потребность в смене научных парадигм в области управления горным давлением и устойчивостью подземных выработок, следует прогнозировать переход от устоявшихся догм к более прогрессивному решению назревших проблем (форма выработки, новые типы и конструкции крепи, способы охраны и поддержания и пр.). Этому будут посвящены дальнейшие исследования и вытекающие из них публикации. В частности, обоснованию необходимости отказа от доминирующих ныне морально устаревших и низкоэффективных арочных рамных крепей из профиля СВП, перехода к прямоугольным или полигональным формам горных выработок с использованием стоечно-анкерных комбинированных конструкций крепи.

Выводы

Проведённые исследования являются логическим продолжением предыдущих научных результатов, а их научная новизна и практическая ценность состоят в следующем:

1. Аналитически-историческим обзором существующих конструкций рамной крепи и шахтных стоек в частности были выявлены их основные недостатки и показана необходимость их замены на более прогрессивные типы.

2. Разработана и исследована новая конструкция шахтной трубобетонной стойки (СТБ) с узлом податливости трения высокого постоянного сопротивления (400 кН) и компактным устройством предварительного распора стойки до уровня её рабочего сопротивления.

3. Новая стойка обладает наиболее высокими деформационно-силовыми показателями технической эффективности и может служить базовой конструкцией при разработке комбинированной стоечно-анкерной крепи горных выработок.

4. Задачи дальнейших исследований состоят в проведении лабораторных, производственных и шахтных испытаний, выпуске опытно-промышленной партии стоек, разработке их параметрического ряда и ТУ по из-

готовлению и применению с последующим авторским сопровождением промышленного внедрения стоек СТБ и комбинированной стоечно-анкерной крепи в подготовительных горных выработках различного назначения.

Библиографический список

1. Агрикола, Г. О горном деле и металлургии в двенадцати книгах [Текст] / Г. Агрикола ; под ред. С. В. Шухардина. — [2-е изд.]. — М. : Недра, 1986. — 294 с.
2. Литвинский, Г. Г. Стальные рамные крепи горных выработок [Текст] / Г. Г. Литвинский, Г. И. Гайко, Н. И. Кулдыркаев. — К. : Техника, 1999. — 216 с.
3. Зворыкин, А. А. История горной техники [Текст] / А. А. Зворыкин. — М. : Углетехиздат, 1940. — 203 с.
4. Пашкевич, Н. В. История горного дела. Развитие технологии и техники подземной добычи угля [Текст] / Н. В. Пашкевич. — СПб. : СПГИ(ТУ), 1999. — 132 с.
5. Давидянц, В. Т. Управление кровлей полным обрушением [Текст] / В. Т. Давидянц. — М. : Углетехиздат, 1957. — 184 с.
6. КД 12.01.01.503–2001. Управление кровлей в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35° [Текст] : руководство. — К. : Минтопэнерго, ДонУГИ, 2002. — 142 с.
7. Литвинский, Г. Г. Горная крепь — эволюция развития и критерии технической эффективности [Текст] / Г. Г. Литвинский // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — № 58. — С. 5–19.
8. Литвинский, Г. Г. Теория расчёта центрально сжатых трубобетонных конструкций стоечной крепи [Текст] / Г. Г. Литвинский, Э. В. Фесенко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — № 38. — С. 10–16.

© Литвинский Г. Г.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СПСиШ ДонНТУ Борщевским С. В., к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Мележиком А. И.

Статья поступила в редакцию 20.11.19.

д.т.н. Литвинський Г. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ШАХТНИЙ ТРУБОБЕТОННИЙ СТОЯК (СТБ)

Дано аналітико-історичний огляд існуючих конструкцій шахтних стояків як основного елементу кріплення гірничих виробок. Виявлено основні особливості конструкції і недоліки шахтних стояків. Сформульовано основні технічні вимоги при їх конструюванні. Запропоновано нову конструкцію податливого шахтного стояка з трубобетону. Наведено головні техніко-економічні показники нового шахтного стояка і доцільну область його застосування.

Ключові слова: підготовчі виробки, кріплення, шахтний стояк, трубобетон, критерії ефективності, вузол податливості, працездатність, попередній розпір, параметри стояка.

Prof. Litvinsky G. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

MINE PIPE-CONCRETE STRUT (SPC)

Analytical and historical review of the existing structures of mine struts as the main element of the support of mine workings has been given. The main features of the structure and disadvantages of the mine struts have been identified. The basic technical requirements for their design are formulated. New design of pliable mine struts made of pipe concrete is proposed. There have been given the main technical and economic features of the new mine strut and reasonable field of its application.

Key words: preliminary development, mine support, mine strut, pipe-concrete, efficiency criteria, compliance joint, operability, prestressing, strut parameters.

УДК 621.257

*д.т.н. Полозов Ю. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, uarolozov@mail.ru),
Лазебник А. Ю.
(АФГТ ЛНУ им. В. Даля, г. Антрацит, ЛНР)*

СПОСОБ ИЗОЛЯЦИИ АВАРИЙНЫХ КОНТРОЛЬНО-СТВОЛОВЫХ СКВАЖИН ПРИ СООРУЖЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕБЕЛ НА КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В статье приводится научно-техническое обоснование нового способа повышения надёжности изоляции проблемных контрольно-стволовых скважин, в котором реализована идея о дополнительном формировании вокруг таких скважин в водопроницаемых породах противофильтрационных завес с параметрами согласно инженерным расчётам.

Ключевые слова: калийные месторождения, контрольно-стволовая скважина, гидроизоляция водопроницающих пород, расчёт изоляционных завес.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Затопление рудников по добыче каменных и калийных солей происходит из-за потери герметичности геологоразведочных и контрольно-стволовых скважин с образованием водопроницающих каналов в сечении или вокруг такой скважины с разгрузкой притока воды в выработанное пространство. В галургии действуют отраслевые нормативы по защите калийных рудников от прорывов подземных вод или ненасыщенных рассолов, которые предусматривают ликвидационный тампонаж разведочных контрольно-стволовых и технических скважин с оставлением целиков в рудном теле вокруг этих скважин. Для контрольно-стволовых скважин действует правило, требующее недопущения выхода их за границы контура будущего шахтного ствола. Этим обеспечивается при проходке визуальный контроль за местоположением скважины в сечении шахтного ствола при проходке и качеством ликвидационного тампонажа. В случаях выхода контрольно-стволовой скважины за контуры шахтного ствола или других отклонений от проекта требуется разработка специальных мероприятий по предотвращению возможных водопритокков через неё в шахтный ствол или горные выработки околоствольного двора подземного рудника [1–2].

Постановка задачи. Основной задачей предложенного способа и технологии является повышение надёжности изоляции водопроницаемых пород вокруг проблемных и аварийных контрольно-стволовых скважин при проходке шахтных стволов на калийных месторождениях за счёт формирования вокруг таких скважин противофильтрационных завес с расчётными параметрами. Это исключает необходимость выполнения каких-либо горных работ из забоя шахтного ствола по поиску, вскрытию и перетампонированию таких скважин.

Изложение материала и его результаты. Контрольно-стволовая скважина на скиповом стволе Гремячинского ГОК была пробурена до глубины 1285 м и обсажена с устья до 702 м комбинированной колонной, состоящей из наружных полиэтиленовых труб диаметром 180 мм и внутренней колонны из стальных труб диаметром 146 мм. Скважина в интервале 554–1285 м ликвидирована в соответствии с действующей инструкцией с установкой цементных мостов [3]. По данным инклинометрии установлено, что скважина выходит за пределы контура шахтного ствола в интервале глубин 805–860 м.

Действительное положение контрольно-стволовой скважины в процессе проходки скипового ствола фиксировалось по поло-

жению обсадной трубы в забое. Анализ данных искривления скважины и выполненные расчёты показали, что фактический выход скважины из сечения шахтного ствола возможен на глубине 550–660 м в водоносных горизонтах, залегающих до глубины 826 м. Реальное отстояние скважины от контура ствола составляло 2,0 м.

Кроме основной контрольно-стволовой скважины при проходке в сечении скипового ствола была обнаружена незатампонирующая, потерянная ранее скважина глубиной 787 м (рис. 1), которая образовалась при расширении скважины до диаметра 215 мм под обсадку трубами.

Анализ данных инклинометрии показал, что незатампонирующая потерянная скважина не выходит на конечной отметке за пределы сечения шахтного ствола. Наличие незатампонирующей скважины в сечении шахтного ствола представляет потенциальную угрозу прорыва через неё подземных вод при проходке, что потребовало разработки мер по её разбурке и выполнению комплекса ликвидационного тампонажа.

В связи с крайне сложными горно-геологическими условиями вскрытия месторождения калийных солей и высокими прогнозными притоками воды в шахтные стволы необходимо было выполнить мероприятия по дополнительной гидроизоляции контрольно-стволовой скважины. Технические решения по ликвидации открытой незатампонирующей скважины и дополнительной гидроизоляции затрубного пространства обсаженной основной контрольно-стволовой скважины, вышедшей за контуры шахтного ствола, должны гарантировать защиту скипового ствола от водопритокков при проходке до глубины 820 м. Для этого в интервале водопроницаемых пород как вокруг открытой, так и вокруг обсаженной затампонирующей контрольно-стволовой скважины предусматривается формирование изоляционных завес в основных водоносных горизонтах с расчётными размерами, способ-

ными выдержать гидростатический напор подземных вод.

Проходка скипового ствола № 1 Гремячинского ГОК до глубины 527 м осуществляется под защитой ледопородного ограждения. Ниже зоны замороженных пород (интервал 520–610 м), по данным гидрогеологических исследований и опытно-фильтрационных работ, а также геофизическим данным, залегает мощный водупор, представленный глинами и глинистыми сланцами, где специальных мероприятий при проходке не требуется.

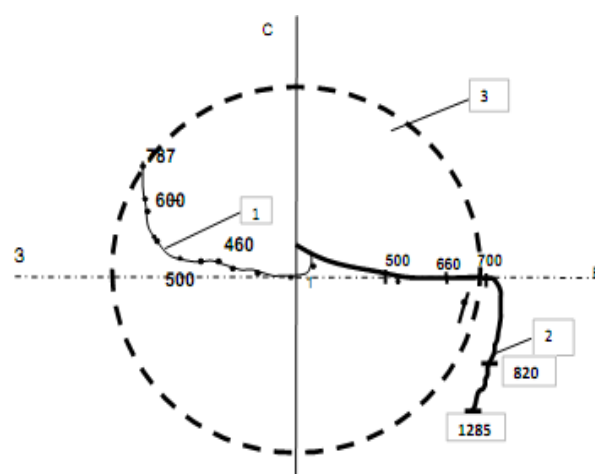
Потенциально опасными при вскрытии как потерянной незатампонирующей, так и основной обсаженной контрольно-скиповой скважин являются следующие нижележащие водоносные горизонты:

625,0–642,5 м — песчаник и песчаные сланцы с прогнозным водопритокком до 765 м³/час;

692,5–721,5 м — песчаник, прогнозный водоприток до 435 м³/час;

727,5–787,0 м — песчаник, прогнозный водоприток до 165–220 м³/час;

800,5–812,5 м — гравеллит и песчаник, возможны незначительные водопритокки.



- 1 — незатампонирующая потерянная скважина;
2 — обсаженная и затампонирующая скважина;
3 — контур шахтного ствола в проходке

Рисунок 1 Горизонтальная проекция контрольно-стволовой скважины

Специальные мероприятия по дополнительной изоляции затампонированной и обсаженной контрольно-стволовой скважины необходимо осуществить путём нагнетания раствора через специальные тампонажные скважины, пробуренные из забоя на минимальном расстоянии от стенки шахтного ствола, следующими заходками: I — 510,0–620,0 м; II — 610,0–685,0 м; III — 675,0–725,0 м; IV — 720,0–775,0 м; V — 770,0–820,0 м.

Вскрытие и ликвидацию незатампонируемой скважины необходимо проводить под защитой зоны замороженных пород во избежание прорыва подземных вод через разбуриваемую потерянную скважину также заходками «сверху вниз».

При выборе составов тампонажных растворов необходимо было учитывать, что вмещающие горные породы в разрезе представлены переслаиванием аргиллитов, алевролитов, песчаников и гравелитов, обладающих высокой пористостью, достигающей 18–36 %. Применение в этих условиях цементных растворов с различными реагентами из-за их высокой водоотдачи и неустойчивости не обеспечивает надлежащего проникновения в трещины. Происходит отфильтровывание жидкой фазы в пористые стенки трещины. В результате чего в устье трещины, вблизи стенки тампонажной скважины образуется пробка из цементных частиц, резко возрастает давление нагнетания и процесс инъецирования прекращается.

Для изоляции трещиноватых и трещиновато-пористых пород ГОАО «Спецтампо-нажгеология» был разработан новый класс тампонажных растворов — глиноцементные растворы. Такие растворы приготавливаются на основе исходного глинистого раствора с плотностью до 1,20–1,23 т/м³ и содержат до 10 % сухого цемента и до 1 % реагента-структурообразователя [4]. Благодаря низкой водоотдаче растворы хорошо проникают в трещины с пористыми стенками, т. е. позволяют сформировать вокруг нагнетательной скважины изоляционную

завесу с заданными параметрами. Через 10 суток растворы набирают максимальную пластическую прочность — 0,2–0,3 МПа.

Применение глиноцементных растворов для ликвидации незатампонируемой скважины способом «сверху-вниз» позволит безопасно осуществить разбурку скважины после нагнетания в вышележащий водоносный горизонт до пересечения следующей водопроницаемой зоны, т. к. конечная прочность раствора после стабилизации меньше прочности глин и алевролитов.

Расчёт параметров формирования изоляционных завес вокруг открытой незатампонируемой скважины производится по методике комплексного метода тампонажа обводнённых горных пород [4].

В следующей последовательности определяются:

1. Размеры изоляционной завесы r_c вокруг скважины, способной выдержать гидростатический напор подземных вод:

$$r_c = \frac{\alpha \cdot \delta_{\max} \cdot P_k}{2[P_m]}, \text{ м}, \quad (1)$$

где α — коэффициент запаса прочности, принимается $\alpha=2-3$; δ_{\max} — максимально возможное раскрытие трещин на участке работ, 10⁻³ м; P_k — напор подземных вод, МПа; $[P_m]$ — допустимая пластическая прочность тампонажного раствора, МПа.

2. Рабочее давление нагнетания тампонажного раствора на насосе, размещённом на поверхности земли:

$$P_n = \Delta P_{mp} + P_k + \Delta P_{труб} - \Delta P_z, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где ΔP_{mp} — потери напора при распространении тампонажного раствора в трещинах проницаемого горизонта, МПа:

$$\Delta P_{mp} = \frac{2\tau_0 r}{\delta_{mp}}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где τ_0 — динамическое напряжение сдвига тампонажного раствора, МПа; r — радиус распространения тампонажного раствора вокруг изолируемой скважины, м; δ_{mp} —

минимальное раскрытие трещин, принимаем 10^{-3} , м; P_k — пластовое давление (напор) подземных вод, МПа; $\Delta P_{\text{труб}}$ — потери напора в нагнетательном трубопроводе, МПа;

$$\Delta P_{\text{труб}} = \Delta \rho \cdot L, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где L — длина нагнетательного трубопровода, м; $\Delta \rho$ — удельные потери напора в нагнетательном трубопроводе из бурильных труб $\varnothing 50$ мм, МПа;

P_z — гидростатический напор столба тампонажного раствора в скважине, МПа:

$$P_z = \gamma_p \cdot H, \text{ МПа}, \quad (5)$$

где γ_p — удельный вес тампонажного раствора, т/м³; H — глубина скважины, м.

3. Объём тампонажного раствора для формирования изоляционной завесы:

$$V_{\text{скв}} = \pi \cdot r^2 \cdot m_t \cdot M, \text{ МПа}, \quad (6)$$

где $V_{\text{скв}}$ — объём нагнетания тампонажного раствора для конкретной заходки, м³; m_t — скважность (трещинная пустотность), доли единиц; M — мощность проницаемых пород конкретной водоносной зоны, м.

Параметры формирования изоляционных завес вокруг потерянной контрольно-стволовой скважины, позволяющие сделать выбор тампонажного оборудования и рассчитать технико-экономические показатели дополнительных тампонажных работ, приведены в таблице 1. Схемы фор-

мирования изоляционных завес приведены на рисунке 2.

Расчёт параметров формирования изоляционной завесы вокруг основной затампонирующей и обсаженной контрольно-стволовой скважины включает в себя определение:

1) расчётных размеров изоляционной завесы вокруг основного ствола скважины по уравнению (1), способной выдержать гидростатический напор подземных вод конкретной водопроницаемой зоны;

2) контуров распространения тампонажного раствора R из тампонажной скважины, пробуренной из забоя ствола на расстоянии, равном r_1 от его стенки:

$$R = r_1 + r_2 + r_c, \quad (7)$$

где r_1 — расстояние от оси тампонажной скважины до крепи ствола «в свету», м; r_2 — расстояние от оси контрольно-стволовой скважины до крепи ствола, м; r_c — расчётный радиус изоляционной завесы вокруг основного ствола скважины, м.

3) давление нагнетания тампонажного раствора для создания изоляционной завесы при размещении насоса на поверхности земли и объём тампонажного раствора по каждому водоносному горизонту (зоне) по уравнениям (2–5).

Параметры процесса тампонажа для изоляции проницаемых горизонтов вокруг основной обсаженной контрольно-стволовой скважины приведены в таблице 2.

Таблица 1

Параметры формирования изоляционной завесы вокруг контрольно-стволовой скважины

№ п.п	Заходка, м	Интервал проницаемых пород, м	Мощность, м	Радиус распространения тампонажного раствора вокруг скважины, r_c , м	Объём тампонажного раствора, $V_{\text{скв}}$, м ³	Давление на насосе, МПа		Производительность насоса Q , л/сек
						в забое	на поверхности земли	
1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	510–610	–	Контрольно-разведочное бурение					
3	610–675	625,0–642,5	17,5	2,54	3,5	6,66	12,94	2,0
4	675–725	692,5–721,5	29,0	3,0	8,2	7,40	14,35	2,0
5	725–787	727,5–787,0	59,5	3,2	19,0	8,08	15,70	2,0

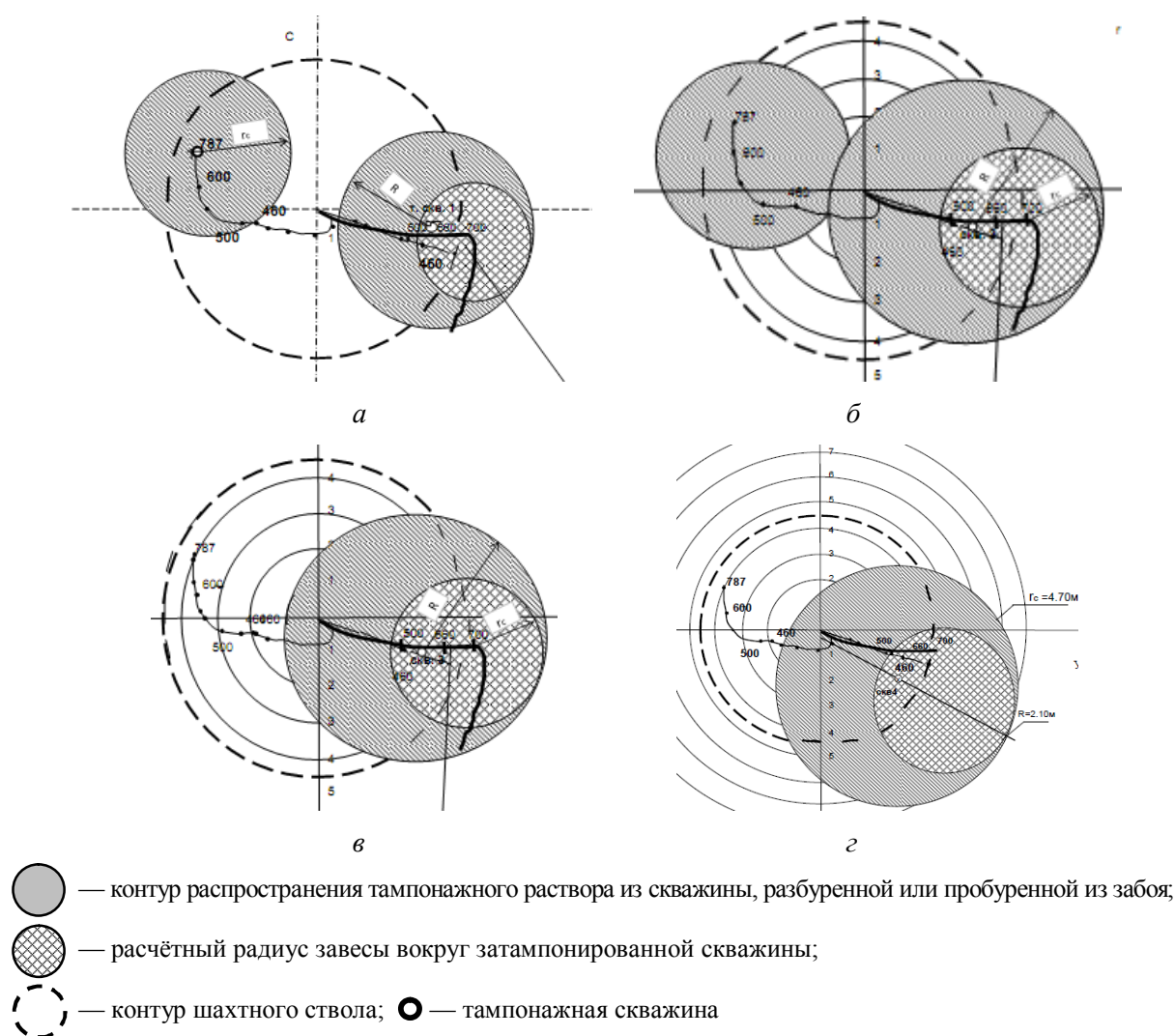


Рисунок 2 Схема формирования изоляционной завесы вокруг участков контрольно-стволовых скважин для различных водонапорных горизонтов (а — 625–642,5 м; б — 692,5–721,5 м; в — 725,5–787,0 м; г — 770–820 м)

Таблица 2

Параметры формирования изоляционных завес вокруг основной контрольно-стволовой скважины

№ п.п.	Заходка, м	Интервал проницаемых пород, м	Мощность, м	Расчётный радиус тампонажной завесы, r_c , м	Радиус распространения раствора из тампонажной скважины, R , м	Давление на насосе, МПа		Объём раствора, $V_{скв}$, м ³
						в забое	на поверхности земли	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	510–620	—	—	—	—	—	—	—
2	610–685	625,0–542,5	17,5	1,8	2,85	7,0	13,3	9,7
3	675–725	692,5–721,5	29,0	2,15	3,60	8,2	15,2	20,1
4	720–775	727,5–765,0	37,5	2,3	4,20	8,7	16,2	28,3
5	770–820	765,0–812,5	47,5	2,40	4,70	9,3	17,3	39,1

Технические решения по ликвидации незатампонируемой скважины. Оптимальным является вариант вскрытия и перетампонирующей скважины в процессе разбурки заходками «сверху-вниз» под защитой толщи замороженных пород. Работы по ликвидации незатампонируемой скважины следует начать с её разбурки через установленный в забое шахтного ствола кондуктор длиной до 6,0 м, который должен быть оборудован запорной арматурой и опрессован на расчётное давление. Очерёдность выполнения комплекса тампонажных работ принимается следующая:

1-я заходка: разбурка скважины на глубину 100 м (до отметки — 610,0 м), что выполнит функцию разведочной скважины.

2-я заходка: вскрытие водоносного горизонта 625,0–642,5 м и исследования экспресс-методом по замеру падения давления на манометре после нагнетания воды. Закачка тампонажного раствора — согласно расчётам, приведённым в таблице 2.

3-я заходка: углубка скважины с разбуркой тампонажного раствора до отметки –725,0 м и нагнетание очередного объёма тампонажного раствора согласно данным таблицы 1.

4-я заходка: углубка скважины до отметки –787,0 м и нагнетание тампонажного раствора в объёмах согласно данным таблицы 1.

Технические решения по гидроизоляции затампонируемой контрольно-стволовой скважины. Тампонажные работы по формированию изоляционных завес вокруг основного ствола в интервалах водоносных горизонтов выполняются через тампонажные скважины, пробуренные из забоя шахтного ствола в 5 заходов с установкой кондукторов в забое на отметках –510,0 м, –610,0 м, –675,0 м, –720,0 м, –770,0 м:

1-я заходка: 510,0–620,0 м — бурение контрольной скважины из забоя;

2-я заходка: 610,0–685,0 м — забой на 610 м, кондуктор длиной 6,0 м, нагнетание тампонажного раствора через кондуктор;

3-я заходка: 675,0–725,0 м — забой на 675 м, кондуктор длиной 6,0 м, нагнетание тампонажного раствора через кондуктор;

4-я заходка: 720,0–775,0 м — забой на 740,0 м, кондуктор длиной 6,0 м, нагнетание тампонажного раствора через кондуктор;

5-я заходка: 770–820 м — забой 760 м, кондуктор длиной 6,0 м, нагнетание тампонажного раствора.

Для тампонажа каждого горизонта предусматривается бурение одной вертикальной или наклонно направленной скважины на минимально возможном расстоянии от контрольно-стволовой скважины на данной отметке. Объёмы нагнетания тампонажного раствора по каждому водоносному горизонту приведены в таблице 2.

Заключение:

1. В качестве эффективного способа обеспечения надёжности изоляции контрольно-стволовых скважин на калийных месторождениях может служить дополнительный тампонаж водопроницаемых горизонтов, пересечённых скважиной, как в процессе ликвидационного тампонирующей самой скважины перед установкой цементных мостов, так и при проходке шахтного ствола в случаях выхода контрольно-стволовой скважины за его сечение.

2. Выполнение тампонажа водопроницаемых горизонтов и формирование вокруг контрольно-стволовой скважины изоляционной завесы исключит потенциальную угрозу вертикальной фильтрации и поступления подземных вод в соленосную толщу.

Библиографический список

1. Шиман, М. И. Предотвращение затопления калийных рудников [Текст] / М. И. Шиман. — М. : Недра, 1992. — 21 с.
2. Пермяков, Р. С. Технология добычи солей [Текст] / Р. С. Пермяков, В. С. Романов, М. П. Бельды. — М. : Недра, 1981. — 271 с.

3. РД 08-492–02. Инструкция о порядке ликвидации, консервации скважин и оборудования их устьев и стволов [Текст]. Серия 08. Выпуск 8. — М. : Закрытое акционерное общество «НТЦИППБ», 2010. — 32 с.

4. Кипко, Э. Я. Тампонаж обводненных горных пород [Текст] : справочное пособие / Э. Я. Кипко, Ю. А. Полозов, О. Ю. Лушникова. — М. : Недра, 1989. — 309 с.

© Полозов Ю. А.

© Лазебник А. Ю.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г.,
к.т.н., доц. каф. ГД ЛНУ им. В. Даля Савченко И. В.*

Статья поступила в редакцию 14.11.19.

д.т.н. Полозов Ю. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, uapolozov@mail.ru), **Лазебник О. Ю.** (АФГТ ЛНУ ім. В. Даля, м. Антрацит, ЛНР)

СПОСІБ ІЗОЛЯЦІЇ АВАРІЙНИХ КОНТРОЛЬНО-СЛОВБУРОВИХ СВЕРДЛОВИН ПРИ СПОРУДЖЕННІ ВЕРТИКАЛЬНИХ СЛОВБУРІВ НА КАЛІЙНИХ РОДОВИЩАХ

У статті наведено науково-технічне обґрунтування нового способу підвищення надійності ізоляції проблемних контрольно-стовбурових свердловин, в якому реалізовано ідею про додаткове формування навколо таких свердловин у водопроникних породах протифільтраційних завіс з параметрами згідно з інженерними розрахунками.

Ключові слова: калійні родовища, контрольно-стовбурова свердловина, гідроізоляція водопровідних порід, розрахунок ізоляційних завіс.

Doctor of Technical Sciences Polozov Yu. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR, uapolozov@mail.ru), **Lazebnik A. Yu.** (Antracite Department of Mining and Transport of LNU named after V. Dahl, Antracite, LPR)

METHOD OF ISOLATION THE EMERGENCY PILOT HOLES IN THE CONSTRUCTION OF VERTICAL SHAFTS IN POTASH DEPOSITS

The article presents the scientific and technical justification of a new method for improving the reliability of isolation of problematic pilot holes, which implements the idea of additional formation around such holes in permeable rocks of anti-filtration curtains with parameters, according to engineering calculations.

Key words: potash deposits, pilot holes, waterproofing of water-conducting rocks, calculation of isolation curtains.

УДК 622.69

*к.т.н. Денисенко В. П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
к.т.н. Безбородов В. А.
(МакНИИ, г. Макеевка, ДНР)*

ЗОНАЛЬНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ШАХТНЫХ ГАЗОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ГОРНЫХ ОТВОДОВ ЗАКРЫТЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Приведены результаты изучения степени опасности земной поверхности горных отводов закрытых шахт по выделению шахтных газов. Установлено зональное распределение компонентного состава шахтных газов по площади горных отводов в зависимости от геологических и горнотехнических условий разработки угольных пластов.

Ключевые слова: угольная шахта, реструктуризация, шахтные газы, зональное распределение.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Закрытие неперспективных шахт является одним из кардинальных направлений реструктуризации угольной промышленности во всех странах постсоветского пространства, которая направлена на достижение конкурентоспособности отечественного угля на внутреннем, а также на внешнем рынке. В связи с этим происходит массовое закрытие шахт. Если ранее фактически единственной причиной закрытия угольного предприятия была полная отработка продуктивных запасов, то сейчас всё более веским аргументом стала технико-экономическая несостоятельность или особая убыточность шахты. Однозначно закрытие шахты должно быть обусловлено полной отработкой запасов угля и сопутствующих полезных ископаемых.

Практика закрытия шахт в ведущих угледобывающих странах Европы свидетельствует о том, что на территории ликвидированных (закрытых) угольных шахт происходят опасные сдвиги земной поверхности, техногенные аварии и даже катастрофы, нередко сопровождающиеся человеческими жертвами [1].

Закрытие шахт в Донбассе по программе реструктуризации угольной промышленности явилось причиной непредвиденных экологических проблем, которые по своей значимости вышли на один уровень с социально-экономическими вопросами региона.

Изменение сформировавшейся и устойчивой природно-техногенной ситуации в условиях вывода шахт из эксплуатации привело к возникновению комплекса нежелательных явлений и процессов: подъём уровня подземных вод с подтоплением территорий, затоплением подземных сооружений и коммуникаций; интенсификация газовыделения и скопление газов в подземных сооружениях.

По ориентировочным прогнозам, объёмы метана в техногенных коллекторах могут в 2–3 раза превышать объём газа, выделившегося при добыче угля за весь период эксплуатации шахты, что подтверждается мировой практикой [2].

Накапливающийся в выработанных пространствах газ при определённых горно-геологических условиях может выходить на земную поверхность, вызывая газирование подвалов и других помещений, что неоднократно являлось причиной взрывов и травмирования людей. Случаи неорганизованного газовыделения из ликвидированных шахт происходили и происходят в населённых пунктах Донбасса [3]. Безусловным в таких случаях является выполнение требований «Инструкции по защите зданий и сооружений от проникновения метана» [4]. В решении вопроса предотвращения выхода шахтных газов на земную поверхность весьма полезен опыт России [5, 6].

Впервые выделение метана на земную поверхность обнаружилось в 1965 г. после вспышки в помещении поверхностного электровозного гаража шахты № 1-1-бис «Альберт» и тогда же зафиксировано в жилых помещениях и погребках четырёх домов в Стаханове. Газовыделение из старых выработанных пространств шахты «Замковская» в городе Брянке привело к гибели людей от удушья. В г. Первомайске из выработанных пространств закрытой шахты «Центральная-Первомайская» метан выделялся на поверхность после её ликвидации около 20-ти лет. На подработанной территории за это время произошло 5 взрывов и вспышек метана в жилых и производственных помещениях. Вследствие затопления горных выработок шахты «Центральная» и выжимания шахтных газов в старые шурфы шахты «Львовская-Комсомольская» от отравления углекислым газом погибла местная жительница [7].

Экологическая ситуация в Донбассе изменяется от техногенных нагрузок на окружающую среду, которые проявляются в связи с последствиями реструктуризации угольных шахт. Ввиду неопределённости развития гидрогеоэкологической ситуации и отсутствия надёжной прогнозной оценки последствий ликвидации шахт, которая предусматривает постоянное наблюдение за состоянием основных компонентов окружающей среды (гидросферы, атмосферы, земной поверхности), очень актуальными являются мониторинговые исследования по определению степени опасности выделения шахтных газов на земную поверхность и подтопления ландшафтов техногенными (шахтными) водами.

По итогам изучения первичных статистических данных и отчётных сведений, их обобщённого сравнительного анализа с учётом конкретных условий возможности выделения шахтных газов на земную поверхность в пределах горных отводов ликвидируемых шахт должен быть разработан комплекс результативных мероприятий, направленных на предотвращение и сни-

жение вредного влияния на окружающую среду.

Опыт показывает, что появление метана в почвенном воздухе значительно опережает загазирование помещений. Поэтому можно ограничиться измерением содержания метана и углекислого газа в почве и проведением постоянного мониторинга. Это даёт возможность предусмотреть превентивные меры по предупреждению загазирования помещений. Своевременное выявление опасных зон на ликвидируемых шахтах Стахановского региона и применение мер по предотвращению неорганизованного выхода газа на поверхность позволило не допустить взрывов и вспышек метана.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что неорганизованный выход шахтного газа метана на поверхность из выработанного пространства закрытых шахт предотвращается путём их дегазации. Это указывает на необходимость длительного мониторинга и управления этим газовыделением.

Цель исследований. Установление зональности выделения шахтных газов на земную поверхность горных отводов закрытых угольных шахт им. Артёма и «Ломоватская» ГУП ЛНР «Углереструктуризация» для обеспечения безопасной жизнедеятельности населения.

Задачи исследований. Для достижения цели решались следующие задачи:

- установление закономерностей распределения шахтных газов в недрах месторождения, затронутых горными работами;
- исследование компонентного состава почвенного воздуха в местах возможного выхода шахтных газов на земную поверхность;
- проведение классификации земной поверхности по степени опасности выделения шахтного газа.

Изложение материала и его результаты. Исследования выполнялись в рамках хозяйственной научно-исследовательской работы по заказу ГУП ЛНР «Углереструктуризация» в 2018 г.

Места возможного выделения шахтных газов на земную поверхность (угрожаемые зоны) определялись путём анализа горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольных пластов шахтами в соответствии с нормативным документом [4]. На этих участках производились измерения содержания метана и углекислого газа в почвенном воздухе по нормативной методике. Отбирались пробы газа специальным воздухоотборным устройством с глубины 0,8 м, измерялось содержание газов: метана — шахтным интерферометром, а углекислого газа — индикаторными трубками химического газоопределителя ГХ-1.

Участки поверхности, где содержание метана и углекислого газа в пробах почвенного воздуха свыше 2 %, относились к опасным. Для надёжного установления контуров опасных участков поверхности отбор и анализ компонентного состава воздуха производился по сетке 5×5 метров.

Поле шахты им. Артёма приурочено к центральной части Селезнёвской синклинали (котловины) и охватывает её северное крутое крыло, придонную часть и пологое южное крыло складки. На западе поле граничит с шахтой «Никанор-Новая», на востоке — с выработками шахты «Романовская» (бывшая «Украина»). Селезнёвская синклиналь представляет собой складку ассиметричного строения, вытянутую в широтном направлении. Углы падения слоёв пород на северном крыле синклинали составляют 55–68°, на южном — 10–25°, простирание пород на её крыльях прямолинейное, преимущественно широтное. Складки, подобные строению Селезнёвской синклинали, характерны для северной мелкокладчатой части Донбасса, и их образование связано с продольным сжатием.

На поле шахты им. Артёма эксплуатировались пласты Алмазной ($l_1^I, l_2^I, l_4, l_5, l_6, l_7$) и Каменской ($k_5, k_5^I, k_6, k_7^I, k_8$) свит. Марочный состав углей изменяется со стратиграфической глубиной от отошённо-спекающихся (пласты Алмазной свиты) до

тощих углей (пласты Каменской свиты). Степень метаморфизма угольных пластов увеличивается от восточного крыла шахты к западному; выход летучих веществ изменяется от 18 до 10 %.

Разрывная тектоника на поле шахты представлена двумя типами дизъюнктивов. На пологом южном крыле получили развитие продольные крупно- и среднеамплитудные надвиги с пологими углами падения (15–50°) плоскостей смещения (Селезнёвский надвиг, его апофизы и спутники, Продольный надвиг, надвиг «С–D», сброс «Л–Т»). Северное крутое крыло синклинали и донная часть в западном крыле шахты разорваны серией крутопадающих (70–90°) поперечных разрывов (сбросы Северные I и II), надвигами (Западные I и II, «И–Л»).

Верхняя граница поверхности метановой зоны в пределах шахтного поля располагается неравномерно по глубине. Зона естественной деметанизации распространяется на глубину 300 м на южном крыле. В зоне Продольного надвига верхняя граница метановых газов залегает на глубине около 400 м. В западной части крутого северного крыла угленосные отложения деметанированы до глубины 400–480 м.

Природная метаноносность угольных пластов Алмазной свиты увеличивается со стратиграфической глубиной от 5–7 м³/т с.б.м. (пласт l_7) до 10–15 м³/т с.б.м. (пласт l_1^I). Природная метаноносность угольных пластов Каменской свиты возрастает с глубиной залегания в направлении к донной части синклинали и достигает максимального значения для пласта k_5 25 м³/т с.б.м. на глубине 600 м.

Разработка угольных пластов шахтой им. Артёма велась поэтапно. На первом этапе отрабатывались пласты на крутом северном крыле с 1914 г. по 70-е годы прошлого столетия. В 70–80 гг. очистные работы интенсивно велись на пластах l_7, l_6, l_4, l_2^I в южном крыле синклинали (Артёмовский блок) и в меньших масштабах в Комсомольском блоке, расположенном в крайней юго-западной части шахтного по-

ля. Последние 10–15 лет разрабатывались пласты k_7^I , k_6 , k_5 в пределах Комсомольского блока шахты.

Затопление шахты началось в 2014 г. с горизонта 612 м. На декабрь 2018 г. уровень воды в скиповом стволе (абсолютная отметка устья ствола +292 м) центральной промплощадки находился на глубине около 360 м от поверхности (абсолютная отметка минус 68 м).

Поле шахты «Ломоватская» расположено в Алмазно-Марьевском геолого-промышленном районе. В геологическом строении месторождения принимают участие отложения свит C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 среднего отдела карбона, частично перекрытые осадками четвертичного возраста, которые представлены суглинками, глинами, почвенно-растительным слоем общей мощностью до 30 м.

Промышленная угленосность поля шахты представлена отложениями свит C_2^7 и C_2^6 . Кондиционные запасы имеют угольные пласты m_6^I , m_5 , m_3 , m_2 , ℓ_7^H , ℓ_6^B , ℓ_5 , ℓ_4^B , ℓ_3 , промышленное значение — m_3 , ℓ_6^B , ℓ_5 , ℓ_4^B , ℓ_3 .

В тектоническом отношении поле шахты приурочено к полосе мелкой складчатости северной окраины Донбасса, составляющей северо-восточный борт Бахмутской котловины. Для полосы мелкой складчатости характерно чередование синклинальных и антиклинальных складок субширотного простирания, осложнённых разрывными нарушениями преимущественно надвигового типа с амплитудами от первых метров до сотен метров.

Пликативные структуры в пределах шахтного поля представлены Краснопольевской антиклиналью, Анненской антиклиналью, Ломоватско-Анненской синклиналию, Сабовской антиклиналью. Ломоватско-Анненская синклиналь является центральной складчатой структурой площади. Южное крыло этой складки, являющееся одновременно северным крылом Сабовской антиклинали, пологое. Северное крыло — крутое (55°). Ширина

складки до 2,5 км, длина около 14 км. Ось её полого, под углами $8-10^\circ$, погружается на запад. Южное пологое крыло осложнено дополнительной складчатостью, которая установлена горными работами.

Пликативные структуры на поле шахты осложнены разрывными нарушениями, простирание которых в основном совпадает с простиранием складчатых структур. Наиболее крупные дизъюнктивы поля шахты — Краснопольский I, Никаноровский и Выдирный надвиги, являющиеся естественными границами шахтного поля на севере и юге. Надвиги сопровождаются зонами нарушенных пород шириной 70–80 м.

Кроме этих крупных надвигов, на поле шахты имеется целый ряд нарушений с амплитудами 5–40 м, осложняющих пликативные структуры и оперяющих крупные надвиги. Зона нарушенных пород у этих разрывов колеблется от метров до десятков метров.

Сложное тектоническое строение поля шахты «Ломоватская» обусловило неравномерный и изменчивый характер распределения природных газов в недрах месторождения. По пласту m_3 граница метановой зоны проходит на глубинах 250–500 м (абсолютная отметка плюс 20 минус 180 м). Газоносность в метановой зоне составляет $5-15 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ По пласту ℓ_6^B граница газового выветривания находится на глубинах 270–310 м (абсолютная отметка плюс 40 м плюс-минус 0 м). Природная газоносность в метановой зоне изменяется от 5 до $30 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$, составляя в основном $20-25 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$ Наиболее высокая газоносность отмечена в западной части шахтного поля. Угольные пласты ℓ_5 , ℓ_4^B , ℓ_3 находятся полностью в метановой зоне. Природная газоносность их изменяется от 5–13 до $30-32 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$, достигая наибольших значений в западной части поля.

По данным шахты, в период эксплуатации случаев выхода метана на поверхность в пределах горного отвода не наблюдалось. Однако, в связи с остановкой шахты и затоплением горных выработок, возмо-

жен выход шахтных газов на земную поверхность.

Выход шахтного газа на поверхность в объёмах, создающих опасные концентрации, возможен при следующих обязательных условиях: наличие техногенного коллектора в подработанном горном массиве, где газ находится под давлением; наличие путей миграции газа из коллектора к земной поверхности.

Поле шахты им. Артёма по метаносности пластов, метанообильности выработок, масштабам и формам метанопроявлений резко различается. Так, северное крыло складки с крутым падением отличается изменяющейся метанообильностью выемочных участков, зависящей от последовательности выемки сближенных пластов и их природной метаносности, определяемой геологическими условиями. Метанообильность выемочных участков до глубины 350–370 м не превышала 0,14–0,2 м³/мин, что характерно для верхней части зоны метановых газов. На нижнем горизонте 492–612 м метанообильность горных выработок западного крыла шахты составляла 0,9–1,0 м³/мин. В пределах восточного крыла метанообильность горных выработок равнялась 1,8–2,2 м³/мин при нагрузке на лаву 170–200 т/сут.

В центральной части пологого южного крыла отработка стратиграфически верхнего пласта l_7 сопровождалась весьма низкими значениями метанообильности горных выработок (до 1,0 м³/мин), что характерно для верхней части зоны метановых газов. При отработке пластов l_6 , l_4 , l_2^I метанообильность выработок закономерно увеличивалась с глубиной и составила по пласту l_2^I 2,6–3,0 м³/мин на глубине 600–640 м. Для снижения метанообильности горных выработок выемочных участков на пластах l_4 и l_2^I применялась скважинная дегазация пластов-спутников в подработанном массиве кровли.

Результаты исследования газового баланса шахты за период отработки указанного участка (1975–1985 гг.) показали, что метанообильность в целом по шахте изме-

нялась от 29 до 45 м³/мин. Основная масса метана до 50–60 %, как правило, поступала из остановленных выемочных участков, что свидетельствовало о длительной дегазации метанонасыщенного массива, затронутого влиянием очистных работ.

Основным источником поступления углекислого газа в горные выработки шахты (60–75 %) являлось выработанное пространство отработанных выемочных участков, главным образом за счёт окислительных процессов. Масштабы образования и выделения углекислого газа с дебитом от 13,5 до 17,8 м³/мин находились в прямой зависимости от расхода воздуха, подаваемого в шахту для проветривания.

Дебит метана в общей исходящей струе Комсомольского блока, по данным расчётов категоричности шахты им. Артёма, за последние 6 лет стабильной работы (2007–2012 гг.), составлял 2,7–4,2 м³/мин. При этом метанообильность горных выработок выемочных участков, отрабатывающих пласты k_5 и k_6 , составляла суммарно 0,97–1,3 м³/мин. Такая структура газового баланса выработок свидетельствует о преобладании метановыделения из выработанного пространства отработанных выемочных полей.

Анализ метанообильности выемочных участков за последние 50 лет работы шахты показал, что длительная эксплуатация угольных пластов и неоднократная надработка сближенных пластов в процессе разработки привели к равномерной и глубокой дегметанизации подработанной углевмещающей толщи пород. В результате на поле шахты в пределах Артёмовского блока сформировалась метановая депрессия до глубины 600–650 м. В трещинах подработанного массива и в погашенных выработках возможно скопление шахтного газа со следующим соотношением газовых компонентов: углекислый газ — 20–30 %; метан — 1–2 %; азот — до 70–80 %. Такой состав газа характерен для азотно-углекислой газовой зоны или зоны обескислороженного «мёртвого» воздуха.

В пределах Комсомольского блока шахты в подработанном массиве возможны скопления шахтного газа: метан — 50–60 %; углекислый газ — 10–20 %; азот — до 30 %. Такой состав газа характерен для углекисло-метановой зоны. В условиях шахты им. Артёма возможными путями выхода шахтного газа на поверхность являются: участки песчаника K_9SL_1 в местах пересечения его разрывными нарушениями I и II Западными надвигами; участки затухания Продольного надвига; участки затухания Селезнёвского надвига; вскрывающие выработки: главный и вспомогательный стволы промышленной площадки Артёмовского блока; наклонные главный и вспомогательный стволы пласта l_1^I , вертикальный вспомогательный ствол диаметром 8,0 м, восточная вентиляционная скважина диаметром в свету 2,6 м, расположенные в Комсомольском блоке.

Периодические плановые замеры состава воздуха в устье всех вскрывающих частично затопленных выработок показали, что метан и углекислый газ обнаруживались в следовых количествах. В почвенном воздухе над выходами указанных угрожаемых участков содержание углекислого газа не превышало 0,1 %, что соответствует фоновому уровню, а метан переносными газоопределителями не обнаруживался.

Шахтой «Ломоватская» эксплуатировались практически два угольных пласта — m_3 и l_6^e . Пласт m_3 на действующих горизонтах залегает в зоне естественной деме-танзации. В горных выработках пласта m_3 на всех отработанных участках проявлений метана не обнаруживалось. Газообильность горных выработок определялась только выделением углекислого газа и составляла до 9 м³/т добытого угля. Основной объём углекислого газа (до 70 %) выделялся из выработанного пространства главным образом за счёт окислительных процессов угля и древесины. При разработке пласта l_6^e в центральной и восточной частях шахтного поля в пределах глубины 200–300 м проявлений метана не отмеча-

лось. После перехода очистных работ в западную часть шахтного поля через зону, нарушенную средне- и малоамплитудными разрывами, в горных выработках начали происходить выделения метана на горизонте 320–400 м. На этом участке, между надвигами «h–l», Никаноровским и его апофизами и западной технической границей шахты, разработка пласта l_6^e велась на глубине 400–450 м в зоне метановых газов с природной метаноносностью угля, равной 15–30 м³/т с.б.м. В зависимости от нагрузки на лаву, природной метаноносности пласта и других факторов отработки угольных пластов абсолютная метанообильность колебалась от 2,5 до 7,0 м³/мин. При перемещении фронта очистных работ в западном направлении увеличение площади выработанного пространства способствовало повышению метановыделения из него.

Анализ основных горно-геологических и горнотехнических факторов, влияющих на распределение шахтных газов в недрах месторождения, затронутых горными работами, показал, что в границах горного отвода шахты «Ломоватская» имеет место чётко выраженная площадная газовая зональность основных компонентов шахтного газа.

Зона метановых газов. Участок западного крыла шахты, расположенный в границах: на юге — Никаноровский надвиг и его апофизы; на востоке — надвиг «h–l»; на западе — техническая граница; на севере — изогипса — 100 м. В подработанном массиве этого участка за счёт повышенной трещиноватости пород сформировался техногенный газовый коллектор, в котором шахтный газ в основном представлен метаном (75–80 %) с примесью CO₂ (15–20 %). При наличии путей миграции возможно выделение смеси метана и углекислого газа.

Зона углекисло-азотных газов. Площадь поверхности горного отвода, приуроченная к восточному крылу шахты, включает в себя отработанные участки угольных пластов: пласты Алмазной свиты шахты № 47; восточный блок по пласту m_3 на своде Анненской антиклинали; северный блок по

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

пласту m_3 на участке Ломоватский верхний; центральная часть восточного крыла шахты по пластам m_3, l_6 . В подработанном массиве рассматриваемой площади горного отвода сформировался техногенный газовый коллектор, содержащий углекислый газ, образованный в результате окислительных процессов и природного происхождения. Содержание последнего в угольных пластах верхней части зоны демегазации составляет 2–3 м³/т с.б.м. При наличии путей миграции возможны выделения на земную поверхность углекислого газа и азота.

Смесь этих газов представляет опасность с точки зрения возможности удушья людей в подвалах, помещениях, канализационных колодцах, траншеях и местах пониженного рельефа местности.

По состоянию на 2018 г. все вскрывающие выработки шахты «Ломоватская» не ликвидированы и находятся в стадии затопления, поэтому являются путями выхода шахтных газов на земную поверхность. Выделение метана и углекислого газа обнаружено в устье вскрывающих выработок (табл.).

Таблица

Содержание компонентов шахтного газа в атмосфере вскрывающих выработок

Место замера состава шахтного газа	Содержание компонентов шахтного газа в атмосфере выработок, %	
	метан	углекислый газ
В районе промплощадки шахты		
водоотливная скважина № 909 г. 400 м	0,1	0,2
вентиляционная скважина № 833	0,1	0,1–0,3
вентиляционная скважина № 836	0,2	0,1–0,2
водоотливная скважина № 671	1,0	1,0
электрокабельная скважина № 675	1,8–5,0	0,2–1,2
главный (скиповый) ствол	0–0,2	0,1–0,6
В районе посёлка Южная Ломоватка		
западный вентиляционный ствол пл. l_6	0,1–1,6	0,1–1,0
вентиляционная скважина № 819	0,0	0,2
западный клетевой ствол	0,1–0,6	0–0,2

Результаты анализа определения состава почвенного воздуха в пределах угрожаемых зон (осушенные трещиноватые породы, зоны разрывов, старые заброшенные выработки и некачественно затампонируемые скважины) показали отсутствие метана в почвенном воздухе, а содержание углекислого газа не превышало 0,25 %.

Выводы и направление дальнейших исследований. Учёт особенностей установленного зонального распределения газов в недрах месторождения, нарушенного горными работами, даёт возможность на-

дёжно классифицировать земную поверхность по степени опасности выделения шахтного газа определённого состава. Это позволяет значительно снизить объёмы опробования почвенного воздуха, своевременно выявлять опасные участки и оперативно применять меры по предотвращению неорганизованного выхода шахтного газа на поверхность.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогноза размеров зон, опасных по выделению шахтных газов на поверхность земли.

Библиографический список

1. Попов, В. Н. Меры по смягчению социальных последствий реструктуризации угольной промышленности в угледобывающих странах с переходной экономикой [Текст] / В. Н. Попов. — Уголь, 2002. — № 1. — С. 8–10.
2. Беррел, Р. Утилизация метана закрытых шахт : опыт Сибири и Великобритании [Текст] / Робин Беррел, Стивен Кершо // Сокращение эмиссии метана : доклады II международной конференции. — Новосибирск : СО РАН, 2005. — С. 518–525.
3. Ермаков, В. Н. О предотвращении выделения газов из ликвидируемых шахт Стахановского района [Текст] / В. Н. Ермаков, С. Я. Петренко, О. И. Касимов. — Уголь Украины, 1999. — № 5. — С. 15–17.
4. КД 12.01.03.07–2001. Защита зданий от проникновения метана [Текст] : инструкция. — Макеевка-Донбасс, 2002. — 126 с.
5. Тимошенко, А. М. Исследования условий формирования газовой опасности на горных отводах ликвидированных шахт Кузбасса [Текст] / А. М. Тимошенко, А. И. Кравченко, В. И. Беляев // Безопасность угольных предприятий : сборник научных трудов. — Кемерово : ВостНИИ, 2000. — С. 18–25.
6. Красавин, А. П. Экологический мониторинг при ликвидации шахт и разрезов [Текст] / А. П. Красавин, А. А. Харионовский, В. Н. Васёва. — Пермь : МНИИ-ЭКОТЭК, 2010. — 315 с.
7. Экологические последствия массового закрытия шахт в Луганской области [Электронный ресурс] // Проблемы химической безопасности. Химия и жизнь : краткий отчёт. — Режим доступа: www.seu.ru/members/ucs/ucs-info/860.htm (20.10.2017).

© Денисенко В. П.

© Безбородов В. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,
д.т.н., с.н.с. МакНИИ Кудиновым Ю. В.*

Статья поступила в редакцию 19.11.19.

к.т.н. Денисенко В. П. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **к.т.н. Безбородов В. О.** (МакНДІ, м. Макеевка, ДНР)

ЗОНАЛЬНІСТЬ ВИДІЛЕННЯ ШАХТНИХ ГАЗІВ НА ПОВЕРХНЮ ГІРНИЧИХ ВІДВОДІВ ЗАКРИТИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Наведено результати вивчення ступеню небезпеки виділення шахтних газів для земної поверхні гірничих відводів закритих шахт. Встановлено зональний розподіл компонентного складу шахтних газів по площі гірничих відводів в залежності від геологічних та гірничотехнічних умов розробки вугільних пластів.

Ключові слова: вугільна шахта, реструктуризація, шахтні гази, зональний розподіл.

PhD in Engineering Denisenko V. P. (DonSTU, Alchevsk, LPR), **PhD in Engineering Bezborodov V. A.** (Makeyevka Research Institute for Mining Safety, Makeyevka, DPR)
ZONING OF COLLIERY GAS RELEASE TO THE SURFACE OF MINE TAKES OF THE CLOSED COAL MINES

There have been given the results of studying the hazard degree of the earth's crust of mine takes of the closed mines on colliery gas release. The zonal distribution of the component composition of colliery gas along the mine takes has been determined depending on geological and mining conditions of coal layers development.

Key words: coal mine, restructuring, colliery gas, zonal distribution.

УДК 622.267.32:268.6

к.т.н. Кизияров О. Л.,
к.т.н. Заев В. В.,
к.т.н., д.э.н. Бизянов Е. Е.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, radioalex@bk.ru, vzaev@mail.ru, bpeeecs@gmail.com)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ

Приведены результаты исследования влияния параметров технологии скважинной разгрузки на напряжённо-деформированное состояние массива горных пород вокруг скважин. Получены эмпирические зависимости для прогноза смещений кровли и почвы выработки в зависимости от параметров скважинной разгрузки.

Ключевые слова: горное давление, напряжённо-деформированное состояние, разгрузочная скважина, метод конечных элементов.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Основным фактором, осложняющим разработку пластов на больших глубинах, является горное давление, воздействие которого приводит к значительным деформациям и сдвигению боковых пород, что, в свою очередь, затрудняет сохранение устойчивости контура и необходимого сечения выработки. Это приводит к тому, что эксплуатационные затраты становятся соизмеримыми со стоимостью проведения выработок, а в ряде случаев даже превосходят их.

Наиболее интенсивному воздействию негативного влияния очистных работ подвержены выработки, примыкающие к очистным забоям. В свою очередь, устойчивость пластовых выработок определяет условия отработки выемочного участка.

В условиях глубоких шахт традиционные способы охраны (целики угля, искусственные сооружения: бутовые полосы, тумбы БЖБТ, блоки БДБ, костры, органическая крепь и др.) не дают требуемого результата. Так, на контуре горных выработок опорное давление у кромки угольного пласта может превышать исходное гидростатическое в несколько раз [1]. В связи с чем на протяжении многих десятилетий ведётся интенсивный поиск решений, позволяющих как минимум снизить затраты на поддержание горных выработок.

Перспективным является направление на создание разгрузочных зон вокруг пластовой выработки в комплексе с традиционными способами охраны как наиболее рациональное для сложных горно-геологических условий, характеризующихся слабыми вмещающими породами и большими глубинами разработки.

Сущность способа создания разгрузочных зон (предварительной и последующей разгрузки) заключается в искусственном снижении напряжённого состояния пород, как до, так и после проведения пластовой горной выработки, путём выбуривания полостей в угольном пласте [2–5].

Рассмотренный опыт применения скважинной разгрузки позволяет сделать вывод о достаточно высокой её эффективности для различных горно-геологических условий. Однако, на наш взгляд, технологические параметры разгрузочных скважин обоснованы не в полной мере, без учёта свойств вмещающих пород и условий отработки. Это подтверждает и тот факт, что за последние два-три десятилетия нет данных об использовании скважинной разгрузки при проведении горных выработок, несмотря на её эффективность.

Постановка задачи. Основными параметрами технологии скважинной разгрузки массива являются: диаметр, длина и шаг бурения скважин.

Рекомендуемые авторами [2–5] параметры данной технологии существенно разнятся и колеблются в следующих пределах: длина 3...12 м, диаметр 200...300 мм и шаг между осями скважин 100...800 мм. Также следует отметить, что в большинстве работ параметры скважинной разгрузки применялись без учёта горно-геологических и горнотехнических факторов.

В связи с этим **целью** настоящей работы является обоснование рациональных параметров скважинной разгрузки с комплексным учётом горно-геологических и горнотехнических факторов для обеспечения устойчивости подготовительных выработок.

Объект исследования — напряжённо-деформированное состояние (НДС) углепородного массива вокруг выемочной выработки, разгруженного скважинами.

Предмет исследования — параметры технологии скважинной разгрузки углепородного массива.

Задачи исследования:

– разработка параметрической модели, включающей в себя очистной забой с выемочными выработками, позволяющей изменять исследуемые факторы в широком диапазоне;

– исследование влияния параметров разгрузочных скважин на напряжённо-деформированное состояние пород вокруг подготовительной выработки;

– установление закономерностей смещений кровли и почвы в выемочной выработке при различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

Методика исследования. Для исследований НДС углепородного массива разработана конечно-элементная параметрическая модель с применением программного комплекса Ansys. Фрагмент расчётной схемы представлен на рисунке 1. Расшифровка представленных на схеме факторов, а также диапазоны их варьирования представлены в таблице 1. Размеры модели, а также граничные условия заданы в соответствии с [6].

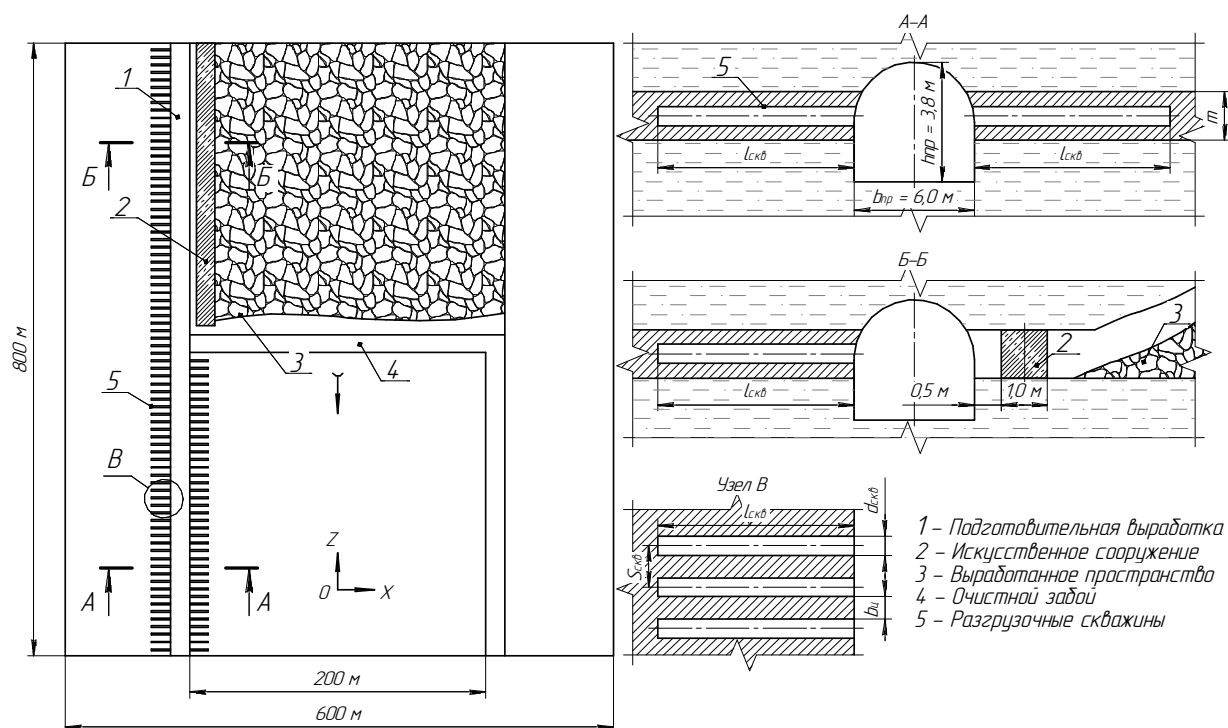


Рисунок 1 Фрагмент расчётной схемы скважинной разгрузки подготовительной выработки

Таблица 1

Диапазоны варьирования исследуемых факторов

Исследуемый фактор	Условное обозначение	Единицы измерения	Значение фактора		
			мин.	сред.	макс.
Диаметр скважин	$d_{\text{скв}}$	м	0,2	0,25	0,3
Расстояние между осями скважин	$S_{\text{скв}}$	м	0,3	0,6	0,9
Длина скважин	$l_{\text{скв}}$	м	0*	5	10
Мощность угольного пласта	m	м	0,6	1,2	1,8
Предел прочности угля на сжатие	$\sigma_{\text{сж.у}}$	МПа	15	20	25
Глубина разработки	H	м	600	900	1200
Предел прочности боковых пород на сжатие	$\sigma_{\text{сж.бп}}$	МПа	40	60	80

* — нулевое значение соответствует случаю, когда разгрузка массива скважинами не осуществляется.

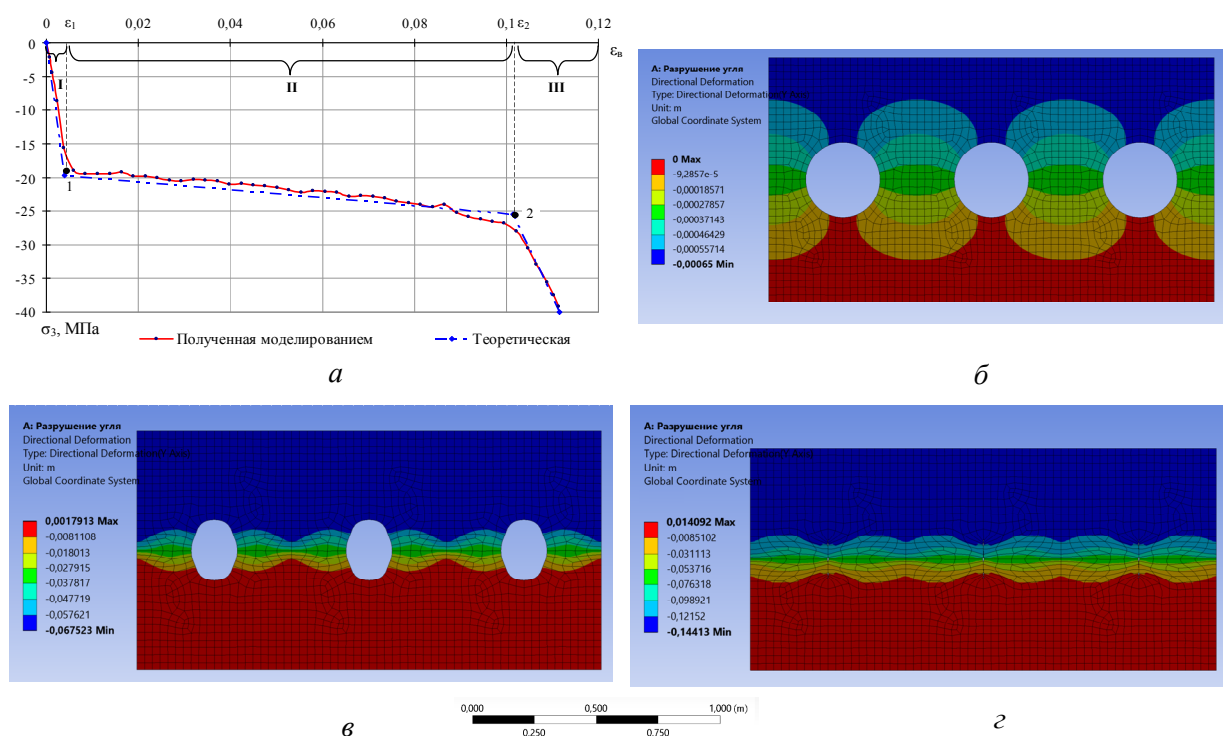
Решалась объёмная задача в физически и геометрически нелинейной постановке. Ширина межскважинного целика $b_{\text{ц}}$ определялась как разность между осями скважин $S_{\text{скв}}$ и их диаметром $d_{\text{скв}}$. Выработка охраняется двумя рядами тумб БЖБТ. Вынимаемая мощность пласта m в исследованиях принята равной 1,2 м. Геометрические параметры выработки (ширина $b_{\text{пр}}$ и высота $h_{\text{пр}}$ в проходке) приняты для типового сечения 15,5 м². Реакция крепи подготовительной выработки задавалась по поверхности контакта рам с боковыми породами как равномерно распределённая нагрузка при плотности установки 1,0 рам/м. Все задачи решались в несколько этапов: нагружение углепородного массива собственным весом, удаление пород в пределах контура выработки и задание реакции крепи (моделирование проведения выработки), формирование зон разгрузки, выемка угля.

Изложение материала и его результаты. В связи с тем, что задача решается в объёмной постановке, а наличие скважин требует применения детальной конечно-элементной сетки вокруг них, что приводит к существенным затратам вычислительных ресурсов ЭВМ и, как следствие, увеличению

времени расчёта, в работе принят следующий подход. Первоначально исследовано влияние основных технологических параметров на напряжённо-деформационные характеристики разгруженного угольного пласта. Затем полученные аппроксимированные кривые деформирования закладываются в жёсткостные свойства элементов, моделирующих зону разгрузки пласта.

Для учёта нелинейных свойств массива принята модель Ментери – Вилама [7]. Закон пластического течения — неассоциированный, с учётом дилатансии. Взаимодействие фракций разрушенного угля между собой, а также с массивом осуществляется путём задания самоконтакта на боковые поверхности скважин с коэффициентом трения, равным 0,15. Нагружение разгруженного скважинами пласта осуществлялось в режиме заданных вертикальных деформаций.

На рисунке 2, а представлен график зависимости главных напряжений σ_3 в межскважинных целиках от относительной величины сближения кровли с почвой пласта $\varepsilon_{\text{в}}$, а на рисунках 2, б–г — характер выдавливания разрушенного материала в полости разгрузочных скважин для следующих условий: $\sigma_{\text{сж.у}} = 20$ МПа; $d_{\text{скв}} = 0,3$ м; $S_{\text{скв}} = 0,6$ м; $\sigma_{\text{сж.бп}} = 60$ МПа.



a — график зависимости σ_3 в межскважинных целиках от относительной величины сближения кровли с почвой пласта ε_v ; б, в, г — схемы разрушения целиков при величине сближения кровли с почвой пласта, равной 0,01; 0,09 и 0,15 м соответственно

Рисунок 2 График деформирования угольного пласта и схема поэтапного разрушения межскважинных целиков

Напряжения σ_3 минимальны по знаку, но максимальны по абсолютному значению. Знак «-» указывает на их сжимающий характер.

Как видно из рисунка 2, a , кривая деформирования разбита на три участка:

I — характеризуется упругим поведением угля (рис. 2, б); на этом участке наблюдается рост напряжений σ_3 до величины предела прочности угля $\sigma_{сж.у}$;

II — характеризуется пластическим (податливым) поведением за счёт разрушения межскважинных целиков (рис. 2, в); разрушенный материал при этом заполняет полость скважин; кривая деформирования более пологая, чем на предыдущем участке;

III — характеризуется полным заполнением полостей скважин разрушенным материалом (рис. 2, г), переходящим в объёмно-напряжённое состояние; наблюдает-

ся дальнейший рост напряжений σ_3 по мере вертикального сжатия пласта.

Для задания конечным элементам полилинейной деформационной характеристики необходимы значения ε_1 (предел упругости) и ε_2 (предел пластичности).

Относительные вертикальные деформации ε_1 определяются по формуле

$$\varepsilon_1 = \sigma_{сж.у} / E_y, \quad (1)$$

где E_y — модуль упругости угля; для условий Донбасса в среднем $E_y = 7,8$ ГПа [6].

Относительные вертикальные деформации ε_2 определим из условия полного заполнения полости скважин разрушенным материалом, при этом

$$S_{сжв} d_{сжв} - \frac{\pi d_{сжв}^2}{4} = k_3 S_{сжв} (d_{сжв} - \Delta m), \text{ м}^2, \quad (2)$$

где Δm — изменение мощности пласта в период раздавливания межскважинного целика, м; $k_3 = 0,85 \dots 0,9$ — коэффициент заполнения полости скважины разрушенным материалом;

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta m}{m}. \quad (3)$$

После преобразования зависимости (2) и подстановки в (3) получим

$$\varepsilon_2 = k_{\Pi} = \frac{0,1d_{\text{СКВ}} \cdot S_{\text{СКВ}} + 0,71d_{\text{СКВ}}^2}{S_{\text{СКВ}} \cdot m}. \quad (4)$$

Относительные вертикальные деформации угольного пласта ε_2 характеризуют его податливый режим работы за счёт разрушения межскважинных целиков. Обозначим выражение (4) как коэффициент податливости k_{Π} . При варьировании исследуемыми факторами в рассматриваемых диапазонах (табл. 1) значение k_{Π} изменяется в пределах от 0,01 до 0,38.

Полученные в зависимостях (1) и (4) относительные деформации задавались в виде полилинейной зависимости для конечных элементов, моделирующих разгруженную зону угольного пласта. Ширина зоны разгрузки принималась равной длине скважин $l_{\text{СКВ}}$.

Анализ расчётов показал, что при отношении $S_{\text{СКВ}} / d_{\text{СКВ}} < 3$ межскважинные целики разрушаются до подхода лавы при любых значениях предела прочности угля на одноосное сжатие $\sigma_{\text{сж.у}}$. В то же время при отношении $S_{\text{СКВ}} / d_{\text{СКВ}} = 3 \dots 4$ и $\sigma_{\text{сж.у}} = 25$ МПа (высокометаморфизированные угли) разрушение межскважинных целиков наблюдалось уже только в зоне влияния очистных работ. При дальнейшем увеличении значения отношения $S_{\text{СКВ}} / d_{\text{СКВ}} > 4$ разрушение межскважинных целиков не наблюдалось либо происходило за проходом очистного забоя. При этом целики, работая в жёстком режиме, являлись концен-

траторами напряжений, что приводило к увеличению максимальных сжимающих напряжений вокруг выработки и, как следствие, снижению эффективности технологии скважинной разгрузки.

Ниже приведены графики зависимости величин смещений кровли и почвы выработки от длины разгрузочных скважин при различном коэффициенте k_{Π} и средних значениях прочих факторов вне зоны влияния (рис. 3, а) и в зоне влияния (рис. 3, б) очистных работ.

Как видно из рисунка 3, а, наличие разгрузочных скважин приводит к росту смещений как кровли, так и почвы выработки, находящейся вне зоны влияния лавы. Это можно объяснить следующим. Первоначально углепородный массив вокруг выработки находится в зоне влияния опорного давления. После бурения скважин происходит раздавливание целиков с одновременным смещением кровли и почвы выработки, при этом снижаются напряжения с образованием разгруженной зоны.

Зависимость смещений от длины скважины носит затухающий характер. В качестве функции, описывающей данную зависимость, принята экспонента. Общий рост смещений кровли и почвы в одиночной выработке не превышает 40...60 мм.

После прохода очистного забоя (сечение Б–Б, рис. 1) наблюдалось незначительное продолжение роста смещений кровли, однако смещения почвы при этом существенно снижались и сильно зависели от коэффициента k_{Π} . Следует отметить, что наибольший эффект от применения разгрузочных скважин получается при их длине 3...6 м.

В целом, несмотря на рост смещений в разгруженной одиночной выработке, общие смещения после прохода лавы на 10...26 % меньше, чем в случае без применения скважинной разгрузки.

На основании проведённых исследований, после статистической обработки результатов расчёта, получены эмпирические зависимости для прогноза смещений

кровли и почвы выемочной выработки с учётом технологических параметров скважинной разгрузки:

– вне зоны влияния очистных работ:

$$U_{к1} = \frac{H}{149\sigma_{сж.бп}} \cdot \left[1 + k_{п} \left(1 - \frac{1}{\exp(l_{скв})} \right) \right], \text{ м, (5)}$$

$$U_{п1} = \frac{H}{129\sigma_{сж.бп}} \cdot \left[1 + k_{п} \left(1 - \frac{1}{\exp(l_{скв})} \right) \right], \text{ м; (6)}$$

– в зоне влияния очистных работ:

$$U_{к2} = \frac{H}{53\sigma_{сж.бп}} \cdot \left[1 + k_{п} \left(1 - \frac{1}{\exp(l_{скв})} \right) \right], \text{ м, (7)}$$

$$U_{п2} = \frac{H}{33\sigma_{сж.бп}} \cdot \left[1 - k_{п} \left(1 - \frac{1}{\exp(l_{скв})} \right) \right], \text{ м. (8)}$$

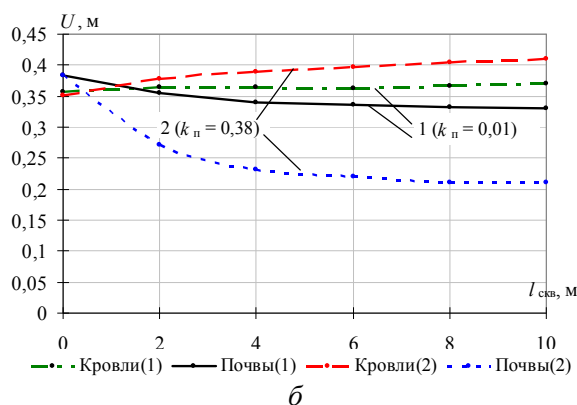
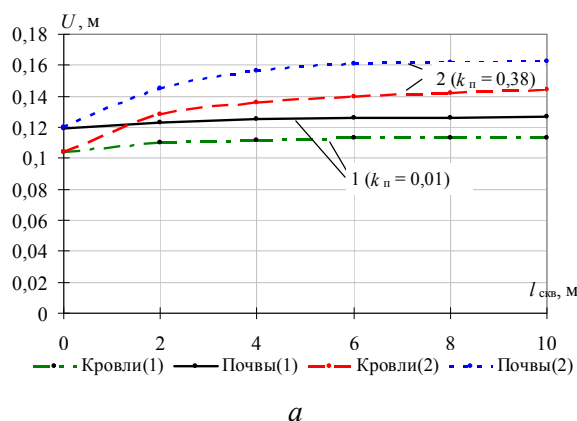


Рисунок 3 Графики зависимости величин смещений кровли и почвы выработки от длины разгрузочных скважин (а — вне зоны влияния; б — в зоне влияния очистных работ)

Следует отметить, что полученные зависимости (5)–(8) характеризуются удовлетворительными показателями адекватности: $R^2 = 0,89 \dots 0,96$; показатель средней ошибки аппроксимации $\varepsilon = 12 \dots 19 \%$.

Учёт влияния площади поперечного сечения выработки осуществлён по аналогии с действующим нормативным документом [8] путём применения коэффициента K_S , определяемого по формуле

$$K_S = 0,2(b_{пр} - 1). \quad (9)$$

В случае, когда в кровле и почве выработки залегают разнородные по прочностным свойствам породы, согласно [8] необходимо скорректировать полученные смещения кровли и почвы путём ввода соответствующих коэффициентов $K_{кр}$ и $K_{п}$, определяемых по формулам:

$$K_{кр} = \sigma_{п} / (\sigma_{п} + \sigma_{к}), \quad (10)$$

$$K_{п} = 1 - K_{кр}, \quad (11)$$

где $\sigma_{к}$, $\sigma_{п}$ — соответственно предел прочности пород кровли и почвы на одноосное сжатие, МПа.

Поскольку в проведённых исследованиях $\sigma_{п} = \sigma_{к}$ и, следовательно, $K_{кр} = K_{п} = 0,5$, то значения коэффициентов, определяемых по формулам (10) и (11), необходимо разделить на 0,5 либо умножить на 2.

После соответствующих подстановок зависимости (5)–(8) для прогноза смещений примут вид:

– вне зоны влияния очистных работ:

$$U_{к} = 2 \cdot U_{к1} \cdot K_S \cdot K_{кр}, \text{ м, (12)}$$

$$U_{п} = 2 \cdot U_{п1} \cdot K_S \cdot K_{п}, \text{ м; (13)}$$

– в зоне влияния очистных работ:

$$U'_{к} = 2 \cdot U_{к2} \cdot K_S \cdot K_{кр}, \text{ м, (14)}$$

$$U'_{п} = 2 \cdot U_{п2} \cdot K_S \cdot K_{п}, \text{ м. (15)}$$

С учётом проведённых исследований предложен следующий алгоритм определения параметров технологии скважинной разгрузки:

1) в зависимости от применяемого типа крепи, вида транспорта в подготовительной выработке и других влияющих факторов определяются допустимые смещения кровли и почвы, как вне зоны влияния ($U_{к.доп}$, $U_{п.доп}$), так и в зоне влияния очистных работ ($U'_{к.доп}$, $U'_{п.доп}$);

2) по формуле (4) рассчитывается значение коэффициента $k_{п}$, при этом диаметр скважин $d_{скв}$ принимается максимальным, исходя из наличия на шахте бурового оборудования и его технических характеристик; расстояние между осями разгрузочных скважин принимается равным $S_{скв} = (1,5...2)d_{скв}$;

3) по формулам (12)–(15) рассчитываются прогнозные смещения при подстановке $l_{скв} = 0$ м, т. е. без применения разгрузки; при различающихся прочностных свойствах кровли и почвы, а также для учёта фактической площади поперечного сечения выработки предварительно рассчитываются поправочные коэффициенты $K_{кр}$, $K_{п}$ и K_S по формулам (10), (11) и (9) соответственно. Если полученные значения смещений меньше допустимых, то необходимость в бурении скважин отпадает;

4) по формулам (12)–(15) рассчитываются прогнозные смещения U_i , U' при подстановке $l_{скв} = 4...6$ м и сравниваются с допустимыми $U_{i.доп}$, U'_i . Выполнение условия $U_i > U_{i.доп}$ означает, что применение скважинной разгрузки не обеспечит безремонтного поддержания и данная технология малоэффективна;

5) с целью снижения трудоёмкости выполнения работ, а также себестоимости разгрузки 1 м выработки принятые параметры технологии $S_{скв}$, $d_{скв}$, $l_{скв}$ могут быть скорректированы при соблюдении условий $U_i \leq U_{i.доп}$, а также $S_{скв} / d_{скв} < 4$.

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

1. Разгрузка массива скважинами одиночной выработки приводит к незначительному росту смещений кровли и почвы, однако после прохода очистного забоя смещения почвы существенно ниже, чем в случае без применения разгрузки. Для снижения смещений в одиночной выработке разгрузочные скважины необходимо бурить до начала её проведения (технология бурения скважин параллельно продольной оси выработки из магистральных штреков).

2. Применение скважинной разгрузки неэффективно при условии $S_{скв} / d_{скв} > 4$.

3. В целом технология скважинной разгрузки подготовительных выработок глубоких шахт позволяет на 10...26 % снизить общие вертикальные смещения, тем самым повысить её устойчивость и снизить затраты на поддержание.

4. На основании численного моделирования получены эмпирические зависимости для прогноза смещений кровли и почвы подготовительной выработки в зависимости от параметров скважинной разгрузки массива при различных условиях отработки пласта.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогноза смещений кровли и почвы разгруженной скважинами подготовительной выработки с учётом фактора времени.

Библиографический список

1. Катков, Г. А. Изменение напряжённо-деформированного состояния краевой части угольного пласта с увеличением глубины разработки [Текст] / Г. А. Катков, Р. И. Хаимова-Малькова // ФТПРПИ. — Новосибирск, 1995. — № 6.

2. Симанович, А. М. Охрана выработок на глубоких горизонтах [Текст] / А. М. Симанович, М. А. Сребный. — М. : Недра, 1976. — 144 с.
3. Штанько, Л. А. Исследование состояния выемочных выработок в зоне влияния очистных работ [Текст] : науч. изд. / Л. А. Штанько, А. В. Ремизов. — Луганск : Промпечать, 2011. — 88 с.
4. Мельник, В. В. Варианты технологии отработки мощных пологих пластов с выпуском подкровельной толици на основе скважинной разгрузки [Текст] / В. В. Мельник, И. С. Кириченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М., 2011. — № 4. — С. 33–36.
5. Литвинский, Г. Г. Повышение устойчивости выработок разгрузкой горного массива от напряжений целлями [Текст] / Г. Г. Литвинский, Г. В. Бабиюк // Экспресс-информ ЦНИЭИуголь, ЦБНТИ Минуглепрома УССР. — М., 1979. — 26 с.
6. Комисаров, С. Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок [Текст] / С. Н. Комисаров. — М. : Недра, 1983. — 237 с.
7. Menétrey, P. Numerical Analysis of Punching Failure in Reinforced Concrete Structures [Text] / Philippe Gérald Menétrey // Diss. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. — Lausanne, 1994. — 179 с.
8. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст] // Мін-во вугільної промисловості України ; ДонВУГІ, УкрНДІпроект. — К. : Мінвуглепром України, 2007. — 116 с.

© Кизияров О. Л.

© Заев В. В.

© Бизянов Е. Е.

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

Статья поступила в редакцию 25.11.19.

к.т.н. Кизияров О. Л., к.т.н. Заев В. В., к.т.н., д.е.н. Бизянов Е. Е. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, radioalex@bk.ru, vzaev@mail.ru, bpeelecs@gmail.com)

ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СВЕРДЛОВИННОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ГЛИБОКИХ ШАХТ

Наведено результати дослідження впливу параметрів технології свердловинного розвантаження на напружено-деформований стан масиву гірських порід навколо свердловин. Отримано емпіричні залежності для прогнозу зсувів покрівлі і підшви виробки в залежності від параметрів свердловинного розвантаження.

Ключові слова: гірський тиск, напружено-деформований стан, розвантажувальна свердловина, метод скінченних елементів.

PhD in Engineering Kiziyarov O. L., PhD in Engineering Zayev V. V., PhD in Engineering, Doctor of Economics Bizianov E. E. (DonSTU, Alchevsk, LPR, radioalex@bk.ru, vzaev@mail.ru, bpeelecs@gmail.com)

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF WELL RELIEVING THE PRELIMINARY DEVELOPMENT IN DEEP MINES

The research findings of influence of the parameters of well relieving technology on the stress-strain state of the rock mass around the wells are presented. There have been obtained the empirical dependences for the prediction of roof and sill displacements depending on the parameters of well relieving.

Key words: rock pressure, stress-strain state, relief well, finite-element method.

**МЕТАЛЛУРГІЯ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**МЕТАЛУРГІЯ
ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**METALLURGY
AND MATERIAL SCIENCES**

УДК 62-231.228

д.т.н. Еронько С. П.,
к.т.н. Ткачев М. Ю.,
д.т.н. Пономаренко А. Г.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НОВОЙ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ШАХТНОЙ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ

Рассмотрены конструктивная схема и методика расчёта технологических нагрузок новой системы выгрузки шахтной печи для обжига извести, а также результаты экспериментальной проверки правильности принятых технических решений и приближенной оценки значений силовых параметров её электромеханического привода.

Ключевые слова: кусковая известь, обжиг, шахтная печь, устройство выгрузки, электромеханический привод.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. При производстве чугуна и стали в качестве флюса — материала, вводимого в шихту с целью понижения температуры плавления пустой породы, ошлакования золы кокса и обеспечения высокой жидкоподвижности и серопоглотительной способности шлака, — как известно, используют известь, получаемую путём обжига известняка в барабанных и шахтных печах [1, 2]. В настоящее время всё большее распространение получают шахтные обжиговые печи с суточной производительностью 145...160 т кусковой извести. Одним из важнейших структурных механизмов печей данного типа является система выгрузки готового продукта, от надёжности и технических возможностей которой в значительной мере зависит стабильность функционирования печи в заданном технологическом режиме. К главным требованиям, предъявляемым к выгрузочному устройству, относят высокую степень равномерности выдачи в единицу времени объёма кускового материала, возможность регулирования в заданных пределах интенсивности разгрузки печи, а также способность рабочих органов разрушать периодически образующуюся в шахте печи спёкшуюся массу, нарушающую нормальный ход процесса выгрузки обожжённой извести. Практика эксплуатации известных систем разгрузки шахтных обжиго-

вых печей свидетельствует о том, что большинство из них не отвечает в полной мере вышеперечисленным требованиям, а это предопределяет необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на совершенствование существующих разгрузочных устройств [3–5].

Постановка задачи. Целью данной работы являлось создание усовершенствованной системы выгрузки шахтной обжиговой печи, эффективно функционирующей в неблагоприятных производственных условиях. Это потребовало выбора новой конструктивной схемы системы, получения теоретических зависимостей, позволяющих выполнить предварительную оценку энергосиловых параметров её привода, а также проведения модельных исследований для проверки правильности принятых технических решений и адекватности полученных математических выражений, описывающих силовое взаимодействие элементов исследуемого объекта.

Изложение материала и его результаты. С учётом результатов выполненного сопоставительного анализа достоинств и недостатков известных отечественных и зарубежных аналогов и имеющегося опыта проектирования систем выгрузки извести из шахтных обжиговых печей [6, 7] авторами данной публикации был предложен усовершенствованный вариант такой системы, схематично представленный на рисунке 1.

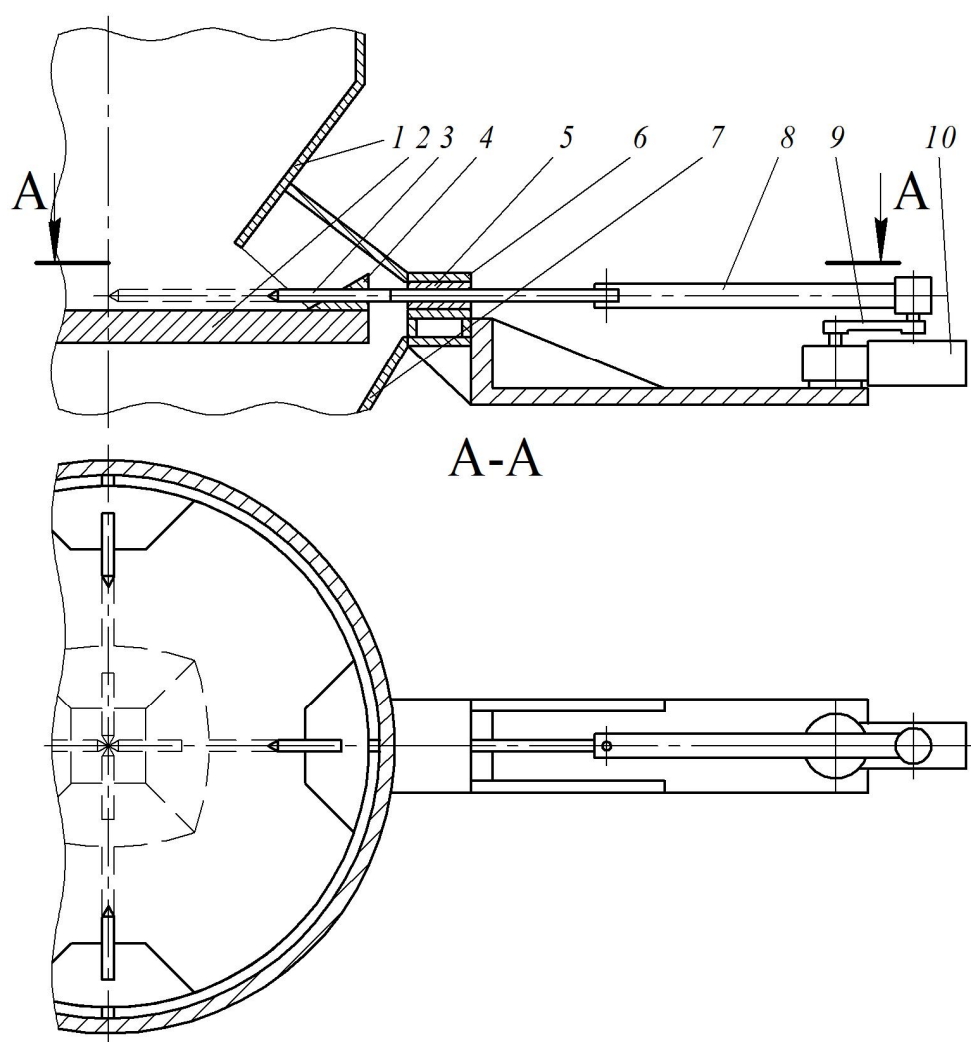


Рисунок 1 Конструктивная схема предложенного механизма системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи

Система состоит из четырёх независимых механизмов, равномерно размещённых по периметру неподвижного круглого стола печи и снабжённых индивидуальным электромеханическим приводом. Каждый из четырёх механизмов включает самотормозящийся червячный мотор-редуктор 10 с регулируемой частотой вращения выходного вала, на котором закреплён кривошип 9, шарнирно связанный с одним из концов шатуна 8. Второй конец шатуна посредством оси соединён с ползуном, состоящим из долота 3 круглого сечения, имеющего возможность возвратно-поступательного перемещения во втулке 5 направляющей опоры 6 и жёстко связанного с клиновид-

ным сегментом 4, расположенным на неподвижном столе 2 круглой формы, смонтированном с зазором относительно конической горловины 1 корпуса печи над коническим коллектором 7.

Данный механизм работает следующим образом. После заполнения обожжённой известью проёма между срезом конической горловины 1 корпуса печи и её круглым столом 2 запускают мотор-редуктор 10, который приводит во вращение в горизонтальной плоскости закреплённый на его выходном валу кривошип 9. Благодаря кривошипу, шарнирно связанному с шатуном 8, крутящий момент, развиваемый мотором-редуктором, преобразуется в усилие,

передаваемое долотом 3 и связанным с ним клиновидным сегментом 4 к центру круглого пода 2. При этом заострённым концом долота разрушается (при наличии) спёкшаяся часть материала, образующаяся вблизи вертикальной оси шахты, а его кусковая фракция пересыпается через верхний срез клиновидного сегмента 4 и под углом естественного откоса располагается за ним на краю стола 2. Во время обратного хода кривошипно-шатунного механизма клиновидный сегмент 4 своей массивной частью сдвигает находящийся за ним слой материала к кольцевой щели, через которую он сыпается в конический коллектор 7.

Для выполнения расчётов в ходе конструирования промышленного образца предложенной системы выгрузки извести из шахтной печи необходима предварительная оценка энергосиловых параметров её привода. Для её выполнения использовали расчётные схемы, приведённые на рисунках 2 и 3. При этом в первом приближении силы трения в шарнирах механизма не учитывали.

Во время поступательного движения относительно поверхности стола на сегмент действуют: его сила тяжести P_c ; сила трения $F_{тр}$ между опорной поверхностью сегмента и поверхностью стола; сила сопротивления, вызванная боковым давлением кускового материала на скошенную часть сегмента, внедряющуюся в толщу материала при движении к центру стола, $F_{ск}$; сила сопротивления, возникающая при сдвиге слоя материала тыльной частью сегмента к краю разгрузочного стола, $F_{сд}$.

Сила тяжести сегмента:

$$P_c = V_c \rho_{мс},$$

где V_c — объём тела сегмента;

$\rho_{мс}$ — плотность материала сегмента.

Сила трения между контактными поверхностями сегмента и круглого стола:

$$F_{тр} = (P_c + \rho_{км} g h_{км} S_{км}) \mu,$$

где $\rho_{км}$ — насыпная плотность кускового материала;

$h_{км}$ — высота столба кускового материала над телом сегмента;

$S_{км}$ — площадь поверхности сегмента, на которую давит столб материала;

μ — коэффициент трения скольжения между контактными поверхностями сегмента и стола, равный 0,15.

Сила, вызванная действием бокового давления столба материала на скошенную поверхность сегмента при его движении к центру стола:

$$F_{ск} = S_{ск} \rho_{км} g h_{км} k_{б},$$

где $S_{ск}$ — площадь вертикальной проекции скошенной поверхности сегмента;

$k_{б}$ — коэффициент бокового давления кускового материала, равный 0,3.

Сила сопротивления, преодолеваемая при сдвиге слоя кускового материала тыльной частью сегмента к краю круглого стола:

$$F_{сд} = S_{сд} \tau_{сд},$$

где $S_{сд}$ — текущее значение площади поверхности сдвигаемого слоя кускового материала;

$\tau_{сд}$ — напряжение сдвига слоя материала.

Направление действия и точки приложения указанных сил при движении сегмента к центру круглого стола и к его краю показаны соответственно на рисунках 2, а и 2, б, а текущие положения сегмента в плане относительно шахты печи — на рисунке 3.

Общая сила сопротивления перемещению сегмента при его движении к центру круглого стола и обратно:

$$F_o = F_{тр} + F_{ск} \text{ и } F_o = F_{тр} - F_{ск} + F_{сд}.$$

Тогда крутящий момент, действующий на выходной вал мотора-редуктора

$$M_{кр} = \frac{F_o}{\cos \alpha_i} O A \cos \beta_i.$$

Мощность мотора-редуктора при статической нагрузке:

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \omega_{\text{кр}}}{\eta_0},$$

где $M_{\text{кр}}$ — максимальное значение крутящего момента;

$\omega_{\text{кр}}$ — угловая скорость кривошипа;

η_0 — общий КПД механизма.

$$\omega_{\text{кр}} = \frac{v_c}{OA}.$$

Здесь v_c — скорость поступательного движения сегмента.

С использованием полученных зависимостей рассчитали параметры привода системы выгрузки обжиговой печи производительностью 160 т в сутки, используя следующие исходные данные: $P_c = 800$ Н; $h_{\text{км}} = 20$ м; $v_c = 0,08$ м/с; $OA = 0,2$ м; $\omega_{\text{кр}} = 0,4$ рад/с; $\rho_{\text{км}} = 1000$ кг/м³; $S_{\text{ск}} = 0,05$ м²; $S_{\text{сд}} = 0,36$ м²; $\tau_{\text{сд}} = 1600$ Па.

Результаты расчёта приведены в таблице.

Тогда мощность мотора-редуктора составит

$$N = \frac{1115 \cdot 0,4}{0,8} = 557 \text{ Вт} \approx 0,6 \text{ кВт}.$$

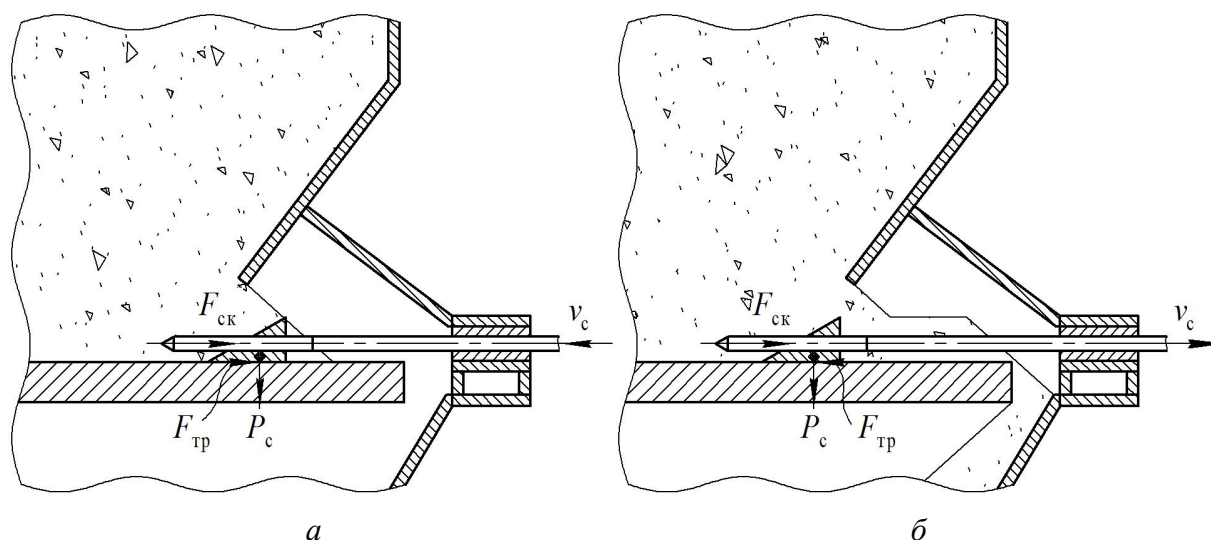


Рисунок 2 Направление действия и точки приложения указанных сил при движении сегмента к центру круглого стола и к его краю

Таблица

Оценочные расчётные значения технологических нагрузок, действующих на механизм выгрузки в его текущих положениях (рис. 3)

Положение механизма	Учитываемые параметры						
	$F_{\text{тр}}$, Н	$F_{\text{ск}}$, Н	$F_{\text{сд}}$, Н	F_o , Н	α_i , град	β_i , град	$M_{\text{кр}}$, Н·м
1	120	0	0	120	0	0	0
2	120	0	0	120	14	43	20
3	3120	2700	0	5820	16	23	1115
4	3120	2700	0	5820	0	0	0
5	3120	2700	600	1020	0	0	0
6	3120	2000	380	1500	16	16	380
7	120	0	210	203	14	43	33
8	120	0	0	120	0	0	0

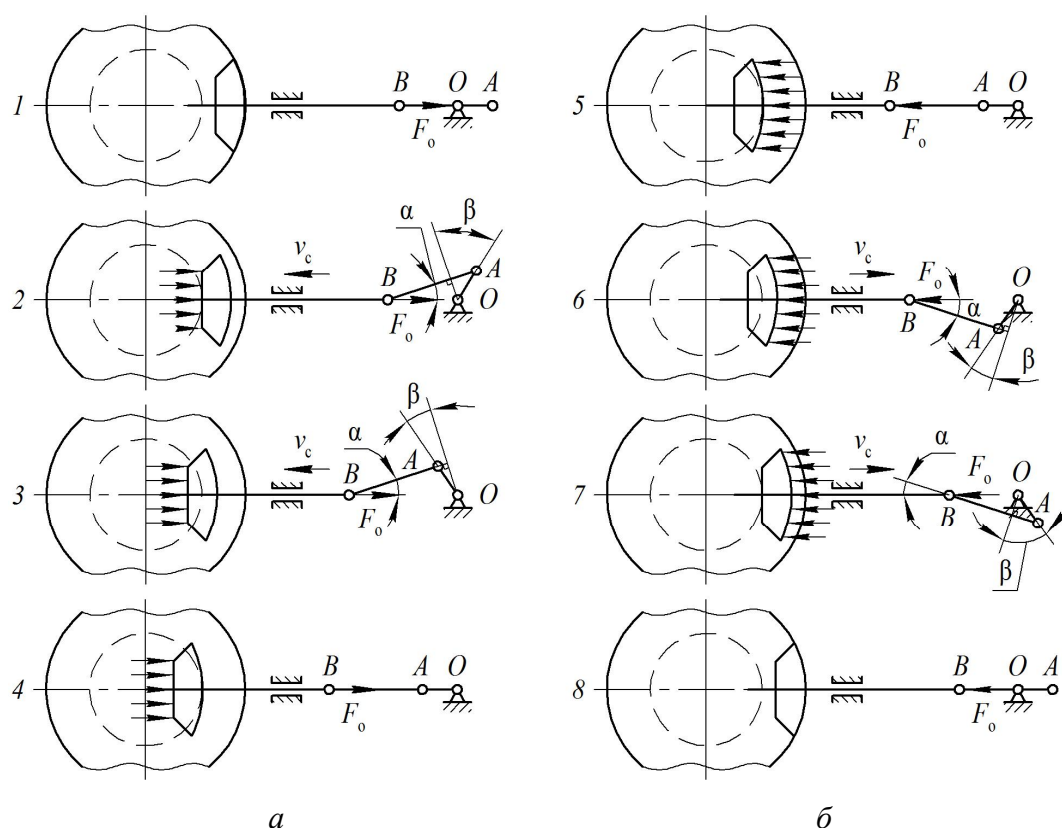


Рисунок 3 Текущие положения сегмента в плане относительно шахты печи

Предварительно полученное значение мощности позволяет в дальнейшем рассчитать размеры и массы структурных звеньев рычажного механизма, которые будут необходимы для выполнения уточнённого расчёта его параметров с учётом динамических сил.

Проверку правильности технического решения, принятого при разработке усовершенствованной системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи, и корректности полученных расчётных зависимостей для определения энергосиловых параметров её привода выполнили с использованием метода физического моделирования. С этой целью спроектировали и изготовили в масштабе 1:20 действующую модель 160-тонной обжиговой печи, снабжённую предложенной системой выгрузки кускового материала.

Физическое моделирование процесса выгрузки обожжённой извести из шахтной печи с использованием предложенной раз-

грузочной системы проводили в следующем порядке. В модель засыпали отсев извести фракцией от 0,5 до 3 мм, что соответствовало для натурального образца печи кускам извести с поперечными размерами 10–60 мм. Для имитации крупных кусков в виде спёкшейся массы предварительно из дроблёной извести с использованием связующего вещества (разбавленный водой клей ПВА) получили комки произвольной формы, имевшие поперечный размер от 15 до 25 мм. После затвердевания и приобретения прочности эти образцы помещали в слой измельчённой извести по всей высоте шахты модели печи. При полностью заполненной шахте модели печи запускали привод механизма её системы выгрузки и выполняли визуальный контроль движения рабочих узлов выгрузочной системы и разгружаемого материала относительно круглого стола (рис. 4). В результате наблюдений удалось установить, что сыпучая известь при движении рабочих элементов от

центра стола к его периферии равномерно сыпалась через щелевые зазоры в приёмный конический коллектор. Когда рабочий элемент выгрузочной системы двигался к центру стола, связанное с ними долото оказывало силовое воздействие на крупные куски материала, что обеспечивало их разрушение и стабилизировало процесс выдачи зернистой среды из модели печи.

Второй этап модельных исследований включал эксперименты, связанные с определением момента сопротивления, дейст-

вующего на вал кривошипа при работе выгрузочной системы. Для этого между выходным валом мотора-редуктора и валом кривошипа устанавливали тензорезисторный преобразователь, как показано на рисунке 5. В таком варианте преобразователь выполнял функцию муфты и при включении в контрольно-измерительный комплекс позволял в режиме реального времени осуществлять фиксацию значений крутящего момента, развиваемого во время работы электромеханическим приводом.



а



б

Рисунок 4 Текущие положения рабочего элемента с долотом во время выгрузки сыпучего материала из модели печи: а — движение к центру стола; б — движение к периферии стола



Рисунок 5 Место установки тензорезисторного преобразователя во время проведения контрольных измерений момента сопротивления, преодолеваемого приводом модели выгрузочного устройства

Контроль крутящего момента, передаваемого от привода к валу кривошипа, осуществляли в следующей последовательности. После предварительно выполненной тарировки тензорезисторный преобразователь подсоединяли к сети контрольно-измерительного комплекса, включавшего усилитель переменного тока, аналого-цифровой преобразователь и ЭВМ. Осуществив балансировку моста сопротивлений тензорезисторного преобразователя, включали в режим записи измерительную систему и запускали привод кривошипно-шатунного механизма. Во время функционирования системы выгрузки модели шахтной печи осуществляли наблюдение за процессом выдачи сыпучего материала в приёмный конический коллектор в течение одной минуты, после чего останавливали мотор-редуктор. Обработанную с использованием специальной прикладной программы зарегистрированную информацию выводили на экран монитора в виде визуального отображения зафиксированного сигнала, характерный вид которого показан на рисунке 6.

На полученных записях чётко отображался характер изменения нагрузки на

привод механизма выгрузки модели шахтной печи при силовом взаимодействии его рабочего органа с кусками выгружаемого материала.

После завершения серии измерений осуществили обработку зарегистрированных сигналов, для чего с использованием графика тарировочной зависимости выполнили пересчёт значений амплитуды сигнала, выраженных в кодах АЦП, в значения крутящего момента. Полученные данные сопоставили с результатами ранее выполненного для модели устройства выгрузки печи расчёта статической нагрузки, действующей на него во время работы (рис. 7).

Полученная информация свидетельствует о работоспособности предложенной усовершенствованной системы выгрузки из шахтной обжиговой печи.

Зафиксированное расхождение между расчётными и экспериментальными данными, достигавшее 20 %, связано с тем, что при выполнении оценочного силового расчёта привода модели механизма выгрузки печи сопротивление в его шарнирных соединениях не учитывали.

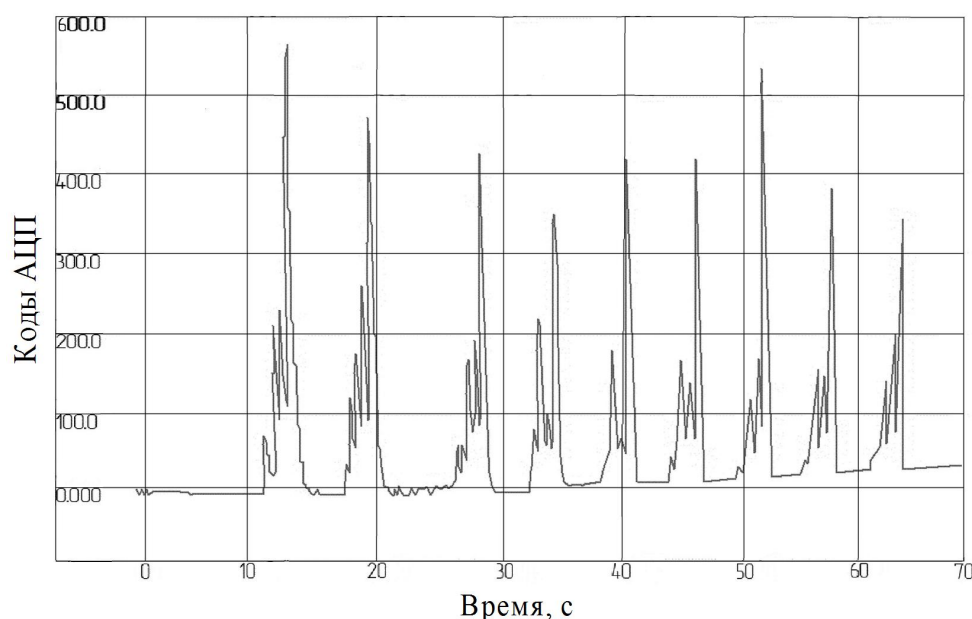


Рисунок 6 Характерный вид зарегистрированного сигнала при контроле крутящего момента, развиваемого приводным мотором-редуктором

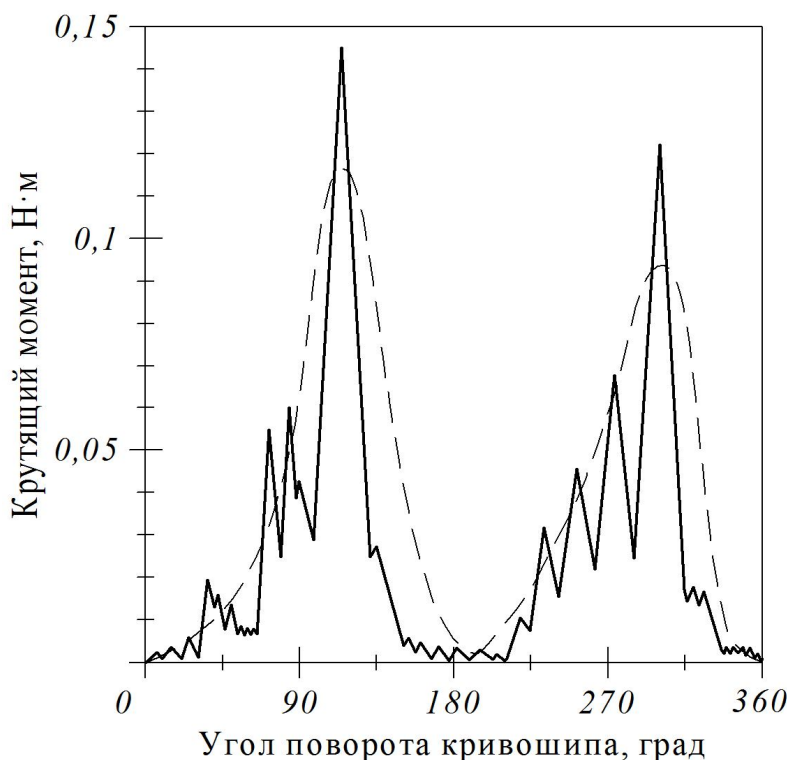


Рисунок 7 Графики изменения крутящего момента, развиваемого приводом модели системы выгрузки печи, построенные по расчётным данным (штриховая линия) и результатам измерений (непрерывная линия)

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, полученные результаты проведённых исследований являются исходной информацией для выполнения уточнённого расчёта натурного об-

разца системы выгрузки шахтной печи, которая может быть рекомендована к промышленному использованию с последующими конструктивными доработками в ходе её работы в производственных условиях.

Библиографический список

1. Монастырев, А. В. Производство извести [Текст] / А. В. Монастырев. — М. : Высшая школа, 1978. — 225 с.
2. Монастырев, А. В. Печи для производства извести [Текст] : справочник / А. В. Монастырев, А. В. Александров. — М. : Металлургия, 1979. — 232 с.
3. Совершенствование производства извести в шахтных печах [Текст] / И. В. Питак [и др.] // Технологический аудит и резервы производства. — 2014. — № 1. — С. 59–63.
4. Автоматизация технологического процесса выгрузки и транспортировки обожжённой извести [Текст] / А. С. Ефремов [и др.] // Вестник Костромского государственного технологического университета. — 2015. — № 2 (35). — С. 61–64.
5. Опыт технического перевооружения и освоения режимов работы печи RTF для обжига известняка [Текст] / В. В. Мадисон [и др.] // Сталь. — 2015. — № 3. — С. 64–70.
6. Пат. 2623402 Российская Федерация, МПК F27B1/20. Устройство для разгрузки шахтной известково-газовой печи / Е. Н. Смирнов, С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, В. А. Скляр, А. В. Сазонов, А. В. Парахин, О. И. Малахова // Бюл. изобретений. — 2017. — № 18.
7. Расчет и конструирование эффективной системы выгрузки извести из шахтной обжиговой печи / С. П. Еронько [и др.] // Metallurg. — 2018. — № 7. — С. 38–43.

8. Разработка гидравлического привода системы выгрузки из шахтной обжиговой печи / С. П. Еронько [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса : сб. тр. 5-й Межд. науч.-практ. конф. в 6-ти т. Т. 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — Донецк : ДонНТУ, 2019. — С. 34–39.

© Еронько С. П.

© Ткачев М. Ю.

© Пономаренко А. Г.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым А. Ю.,
д.т.н., проф. каф. ОМД ДонНТУ Яковченко А. В.**

Статья поступила в редакцию 18.11.19.

**д.т.н. Єронько С. П., к.т.н. Ткачов М. Ю., д.т.н. Пономаренко О. Г. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НОВОЇ
СИСТЕМИ ВИВАНТАЖЕННЯ ШАХТНОЇ ВИПАЛЮВАЛЬНОЇ ПЕЧІ**

Розглянуто конструктивну схему та методику розрахунку технологічних навантажень нової системи вивантаження шахтної печі для випалювання вапна, а також результати експериментальної перевірки правильності прийнятих технічних рішень і наближеної оцінки значень силових параметрів її електромеханічного привода.

Ключові слова: кускове вапно, випалювання, шахтна піч, пристрій вивантаження, електро-механічний привод.

**Doctor of Technical Sciences Eron'ko S. P., PhD in Engineering Tkachov M. Yu., Doctor of
Technical Sciences Ponomarenko A. G. (DonNTU, Donetsk, DPR)
DESIGN ENGINEERING AND ASSESSMENT OF PROCESS LOADS OF THE NEW
UNLOADING SYSTEM OF THE ROASTING SHAFT FURNACE**

There have been studied the construction arrangement and design procedure of the new unloading system of the shaft furnace for lime roasting as well as the results of experimental validation of accuracy of made engineering solution and approximate value of power factors of its electromechanical drive.

Key words: lump lime, roasting, shaft furnace, unloader, electromechanical drive.

УДК 669.18.013

*к.т.н. Куберский С. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ МИКРОЗАВОДОВ В СТРУКТУРЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НАРОДНЫХ РЕСПУБЛИК ДОНБАССА

Рассмотрены основные тенденции развития современного производства стали в мире. Проведён анализ номенклатуры и объёмов производства стали в условиях Народных Республик Донбасса. Показаны преимущества сталеплавильных микрозаводов и обоснована необходимость внедрения их в отечественную практику как нового элемента металлургической отрасли. Предложена стратегия поэтапной трансформации чёрной металлургии.

Ключевые слова: металлургия, сталь, стратегия, трансформация, модернизация, интегрированные предприятия, микрозавод, преимущества, продукция, рынок сбыта.

В ближайшей перспективе развития мирового промышленного производства не предвидится никаких крупных событий, способных спровоцировать устойчивый рост потребления чёрных металлов, подобный промышленной революции в Китае, начавшейся одновременно с новым тысячелетием. Анализируя этот почти двадцатилетний период можно отметить, что за исключением Китая в остальном мире потребление чёрных металлов незначительно превышает показатели 70–80-х годов прошлого века. В некоторых регионах потребление растёт, а в других остаётся неизменным или несколько снижается. В целом на современном мировом рынке повторяется ситуация последней четверти XX века, характеризующаяся медленным ростом потребления стали в год — в среднем 1–2 %.

При этом отмечается избыток производственных мощностей, который, на наш взгляд, в течение определённого времени будет ещё сохраняться. Такая ситуация в сфере мирового производства металлопродукции сложилась ввиду существенного превышения темпов ввода новых мощностей над темпами роста спроса на металлы, что выразилось в увеличении доли недозагруженных производств и, как следствие, значительном снижении цен на чёрные металлы. Для рынка металлопродукции стали характерны переизбыток предложения и высокая волатильность цен с

тенденцией к их понижению. В настоящее время мировые мощности по производству металлопродукции, по данным World Steel Association, загружены примерно на 70 %, что в первую очередь крайне негативно сказывается на эффективности работы производителей металлургического оборудования, а также внедрении конструкторских и технологических инноваций [1]. За последние годы отмечено снижение капиталовложений в новое производство в пределах 30–35 % [2].

Ещё одной особенностью последних десятилетий является необходимость и реальность смещения производства стали обычного сортамента в районы, характеризующиеся ростом потребления металлопродукции. С одной стороны, этому способствует разработка и внедрение новых технологий, позволяющих добиваться разумных затрат (капитальных и операционных) даже для небольших производств. С другой — производство высококачественных сталей было и остаётся привязанным к высокотехнологичному производству, автомобиле- и машиностроению, а значит, в большинстве своём будет сконцентрировано в развитых странах.

Поэтому основная *цель* данной работы заключалась в оценке перспектив развития концепций интегрированных мини- и микропроизводств в мировом и отечественном металлургических комплексах.

Объект исследования: процесс модернизации металлургического комплекса.

Предмет исследования: особенности микрозаводов и необходимость их создания.

Методы исследования: анализ и оценка эффективности различных типов металлургических предприятий.

Современные тенденции развития мировой металлургии характеризуются существенным ослаблением интереса потенциальных инвесторов к финансированию долгосрочных проектов, связанных со строительством интегрированных металлургических предприятий.

В настоящее время крупные интегрированные предприятия строятся в основном в Китае и Индии. Строительство таких производств в Китае обусловлено в основном закрытием крупных устаревших производств в соответствии с общенациональной программой по переносу мощностей из старых промышленных центров в новые, менее загрязнённые районы. Причём часть новых производств переносят в сельскую местность с заменой доменных печей на более щадящие для окружающей среды электродуговые, реализуя, таким образом, стратегию развития металлургических мини-производств.

Дальнейший рост доли мини-заводов в промышленности Китая обусловлен необходимостью контроля затрат, увеличения технологической гибкости и решения вопроса с избыточными и характерными для конвертерного производства выбросами углекислого газа.

Строительство крупных металлургических предприятий в Индии обусловлено стремлением к увеличению объёмов производства чугуна и стали для более полного удовлетворения внутреннего рынка собственной металлопродукцией. За последние годы металлургия Индии сделала значительный рывок и вышла на второе место в рейтинге мировых производителей стали, произведя в 2018 году 106,5 млн т. Однако ближайшие перспективы строительства новых крупных производств, как и 300 млн т

собственного годового производства стали к 2030 году, достаточно туманны. Основная проблема связана с чрезмерно продолжительным временем, необходимым для согласования и реализации проектов металлургических компаний, что приводит к увеличению издержек производства и превышению стоимости над запланированным уровнем. Существенное влияние на реализацию проектов оказывают бюрократические и социальные факторы: задержки при получении разрешительных документов, нежелание сельского населения продавать землю, длительная экологическая экспертиза, высокие затраты на финансирование, зависимость от импорта технологий и оборудования, отсутствие высококвалифицированных специалистов, управленцев, рабочей силы и др. [3].

На 4-ой конференции «Реальные инновации», проходившей с 3 по 5 октября 2017 г. в штаб-квартире Группы Danieli в Италии и собравшей 600 участников из 70 стран, было отмечено: будущее сталеплавления определяют высокотехнологичные системы управления и автоматизации; до 2035 года потребление стали региональными экономиками будет превышать прогнозируемый рост на 1,1 %; контроль затрат на сырьё требует продолжения деятельности в сфере оптимизации существующих и разработки новых технологий переработки и утилизации лома; необходим постепенный уход от конвертерных технологий выплавки в сторону печных [4].

Кроме того, был сделан прогноз дальнейшего снижения конкурентоспособности доменного передела, а также отмечена продолжающаяся хаотичность планирования производства, обусловленная попытками производителей работать в условиях сокращённых промышленных циклов, сочетающихся с более широкими сдвигами поставок и потребления готовой продукции.

Особое внимание на конференции было уделено металлургическим мини- и микрозаводам. Во многих докладах отмечалось,

что предприятия с «усечённой» технологической схемой и небольшими по меркам металлургического комплекса объёмами производства сохраняют свою привлекательность и экономическую жизнеспособность благодаря оперативности перенстройки производства, качеству и разнообразию производимой продукции, наличию определённого потенциала к дополнительному повышению конкурентоспособности за счёт сокращения производственных циклов и потребления энергоносителей, а также высокой степени использования оборудования и агрегатов.

Ещё одним ощутимым преимуществом мини- и микроразоводов является отмечаемый по всему миру рост объёмов лома наряду с возможностями снижения выбросов CO_2 по сравнению с конвертерным производством. Согласно прогнозу, в 2050 году совокупный объём используемой стали достигнет 55 млрд т, а количество стального лома — 1,5 млрд т [4]. Таким образом, 70 % существующего в мире спроса может быть покрыто утилизацией стального лома, что позволит увеличить долю электропечных способов производства стали и будет играть огромную роль в снижении промышленных выбросов углекислого газа.

Кроме того, способность мини- и микроразоводов производить широкий сортимент марок стали в приемлемых для потребителей объёмах позволяет им оптимизировать свои производственные программы с учётом потребностей региональных рынков. В отличие от интегрированных производств, предлагающих потребителю минимальные партии продукции в десятки тонн, микроразоводы могут позволить себе реализацию одному заказчику значительно меньших объёмов эксклюзивной металлопродукции высокого качества, вплоть до нескольких сотен килограмм. Поэтому для реализации своего экономического потенциала развивающимся рынкам необходимы именно такие типы предприятий. Их высокая эффективность в части опера-

ционных и капитальных затрат открывает прекрасные возможности для выхода на региональные рынки, обязательным условием для которых является тесная работа с постоянно изменяющимися запросами потребителей.

Для производителей металлопродукции заказчиками и потребителями могут выступать международные и региональные компании. Целевой аудиторией для мини- и микроразоводов являются именно региональные потребители. Для них такие предприятия обеспечивают прекрасную возможность роста за счёт снижения капитальных и операционных затрат и удовлетворения растущего местного и регионального спроса. Кроме того, дополнительным преимуществом мини- и микроразоводов является экономия на логистических и сервисных затратах, что позволяет превращать скрап в готовый продукт менее чем за два часа.

Поэтому для развивающихся стран и стран, которые ранее полагались исключительно на импорт стали, в условиях глобального рынка с его торговыми барьерами и таможенными пошлинами мини- и микроразоводы местного и регионального масштаба — заведомо выгодное решение.

Таким образом, можно утверждать, что концепции создания, функционирования и развития мини- и микроразоводов являются определённой эффективной перспективой для любого металлургического комплекса, особенно в условиях, когда региональное расширение более привлекательно в сравнении с общемировым.

Чёрная металлургия является одной из ведущих отраслей экономики Народных Республик Донбасса и вносит существенный вклад в ВВП, добавленную стоимость обрабатывающей промышленности, экспорт, занятость и т. д. На предприятиях чёрной металлургии работают десятки тысяч человек, а в некоторых городах (Алчевск, Стаханов, Первомайск, Енакиеве, Макеевка, Горловка, Харцызск и др.) металлургические предприятия наряду с машиностроительными явля-

ются градообразующими. Отрасль оказывает значительный мультипликативный эффект на смежные отрасли: один человек, занятый в чёрной металлургии, обеспечивает занятость до 7 человек в смежных отраслях экономики.

В 2014–2019 гг. существенно изменилась не только конъюнктура мировых рынков чёрных металлов, но и макроэкономические параметры развития экономики Донбасса.

За прошедший период в связи с боевыми действиями экономика Народных Республик Донбасса находилась в состоянии стагнации, инвестиции в основной капитал практически не осуществлялись, а потребление металлопродукции на внутреннем рынке упало до минимальных за последние десятилетия объёмов. Основной причиной такой ситуации стало снижение спроса на продукцию чёрной металлургии со стороны потребителей ввиду остановки работы целого ряда предприятий машиностроения, строительной, транспортной и других перерабатывающих отраслей народного хозяйства.

Кроме того, в сложной ситуации оказались и наиболее крупные металлургические предприятия ввиду обострения проблем энергобезопасности, обеспеченности кадрами, логистики, снабжения сырьём и реализации продукции. Всё это заставило металлургов провести определённую трансформацию технологий, решить вопросы надёжного снабжения электроэнергией, расширить транспортную инфраструктуру, найти новые рынки сырья и потребления выпускаемой продукции. Одним из наиболее значимых решений, позволивших металлургическим предприятиям реанимировать производство в условиях блокады со стороны Украины, была передача управляющих функций ЗАО «Внешторгсервис». В состав этой управляющей компании в настоящее время в качестве филиалов входят основные предприятия горно-металлургического комплекса ЛНР и ДНР.

Крупнейший в Донецкой Народной Республике (ДНР) Енакиевский металлургический завод (ЕМЗ) в этих сложных условиях почти не останавливал производство. Определённые перспективы есть и у донецких металлургов. С декабря 2017 года возобновил свою работу металлургический гигант Луганской Народной Республики (ЛНР) Алчевский металлургический комбинат (АМК). В настоящее время ведутся работы по восстановлению эффективного производства на Стахановском заводе ферросплавов (СЗФ), который в довоенный период являлся одним из основных поставщиков ферросплавов для наших металлургов.

Оценить перспективы металлургического потенциала Народных Республик, имеющих разветвлённую сеть металлопроизводящих и металлопотребляющих предприятий, можно по двум параметрам — производство и потребление стали на душу населения.

Потенциальные возможности производства стали на душу населения для ДНР и ЛНР могут быть более 2000 кг и 3500 кг, а фактические в 2019 году на уровне 700 кг и 1000 кг соответственно. Даже такой фактический показатель свидетельствует о развитом по мировым меркам металлургическом производстве.

Потребление стали на душу населения характеризует уровень промышленного развития государства и ввиду ряда объективных причин в условиях ДНР и ЛНР может быть лишь спрогнозировано для определения стратегии развития Народных Республик. Мировой опыт свидетельствует о том, что видимое потребление стали в странах, лидирующих в экспорте металлопродукции (Ю. Корея, Китай, Япония, Германия, Италия), составляет в среднем 600 кг, в странах, не являющихся лидерами в экспорте (Турция, Канада, США, Франция, Великобритания), — 300 кг, в России около 275 кг, в Украине на уровне 90 кг.

Украина после распада СССР всегда отличалась не совсем позитивным соотношением реализации металлопродукции на ми-

ровом и внутреннем рынках. Если для ведущих мировых металлопроизводителей этот показатель составляет 20 %/80 %, то в Украине внутренний рынок за последние годы потреблял лишь 10–20 % произведённого металлургами металла. Поэтому для организации рациональной работы металлургического комплекса ЛНР и ДНР наиболее приемлемой может быть стратегия, направленная на обеспечение в ближайшей перспективе видимого потребления стали на уровне 150–200 кг, а в долгосрочной — 300 кг на душу населения (0,57–0,76 млн т/год и 1,14 млн т/год соответственно).

Учитывая производственные мощности только двух ведущих предприятий ДНР и ЛНР, которыми являются ЕМЗ и АМК (суммарно около 8 млн т/год), обеспечение таких объёмов производства не представляет особых проблем даже в существующих условиях (ожидаемое годовое производство 2,5–3,0 млн т). Однако для оценки перспектив насыщения внутреннего рынка продукцией собственного производства необходимо произвести анализ номенклатуры производимой этими предприятиями металлопродукции.

Основной продукцией металлургических предприятий ДНР является сортовая заготовка и сортовой прокат. Причём в довоенные годы ЕМЗ был одним из крупнейших в Европе поставщиков сортовой заготовки на европейский рынок. В условиях сокращения внешнего рынка производимые на ЕМЗ сортовые заготовки квадратного сечения частично идут на экспорт, а частично могут прокатываться на мелкий сорт строительного назначения для насыщения внутреннего рынка. Для получения проката могут использоваться как мощности ЕМЗ, в том числе Макеевского сортопрокатного цеха, так и другие прокатные предприятия ДНР и ЛНР. Таким образом, в случае возобновления гражданского и промышленного строительства, а также развития транспортной инфраструктуры Народных Республик сортовая продукция строительного назначения собственного

производства может вполне удовлетворить спрос на внутреннем рынке.

Намного проблематичнее направить на внутренний рынок продукцию АМК, представляющую собой слябы и толстый лист, которые используются для производства листовой продукции и в отраслях, не имеющих в настоящее время развития в ЛНР и ДНР. Имеющийся на предприятии сортопрокатный цех может быть загружен лишь привозной заготовкой. В настоящее время рассматривается возможность кооперации предприятия с Харцызским трубным заводом (ХТЗ), специализирующимся на выпуске более 500 видов труб большого диаметра, используемых при строительстве магистральных нефте- и газопроводов. Такое сотрудничество позволит реализовывать на внутреннем рынке определённый объём металлопродукции. В частности, рассматривается возможность обеспечения ГП «Лугансквода» трубами для реконструкции Родаковского водовода.

Тем не менее, в ближайшей перспективе предприятие не сможет кардинально изменить свою экспортную направленность и значительную зависимость от внешних рынков.

Приведённый краткий анализ свидетельствует о том, что существующая в Народных Республиках структура металлургического производства не в состоянии обеспечить весь спектр необходимой металлопродукции не только по номенклатуре, но и в требуемых объёмах. Говоря об объёмах, следует отметить тот факт, что промышленность региона представлена большим количеством мелких металлоперерабатывающих предприятий. Такие предприятия потребляют в месяц несколько тонн, а иногда и килограмм стальной заготовки. В то же время минимальные объёмы реализации ЕМЗ и АМК тесно связаны с садкой их сталеплавильных агрегатов, которая составляет 135 т и 300 т соответственно. Поэтому заморозка оборотных средств переработчиков для приобретения таких объёмов не представляет

ся реальной и вынуждает их покупать товар в меньших объёмах, но по более высокой цене или у другого производителя, способного выпускать нужную продукцию с использованием менее производительных технологических агрегатов.

Кроме того, анализ более 30 работающих в настоящее время в ЛНР предприятий машиностроения и производящих готовые металлические изделия показывает, что не только объёмы реализации сдерживают их кооперацию с крупными предприятиями. Значительную долю в их производстве занимают изделия из специальных сталей и сплавов (в т. ч. нержавеющей и электротехнических), выплавляемых, как правило, в электрических печах, традиционно используемых в технологической схеме металлургических мини- и микрозаводов. Мировой опыт эффективного производства таких сталей в конвертерах, используемых на ЕМЗ и АМК, практически отсутствует.

Необходимо отметить, что мировой рынок специальных сталей и сплавов последнее десятилетие активно растёт, как и растёт доля малотоннажных электросталеплавильных производств, позволяющих производить широкий спектр сталей и сплавов в небольших объёмах и за минимальный срок. В настоящее время доля продукции мини- и микрозаводов в общем объёме выпуска продукции специальной металлургии превышает 30 %.

Основные задачи, стоящие перед производителями специальных сталей и сплавов, предусматривают решение проблем, связанных с высоким расходом легирующих элементов, в частности хрома и никеля, а также на последовательные улучшения свойств выпускаемой продукции: увеличение показателей жаропрочности и легковесности продукции, повышение её экологической безопасности.

Складывается тенденция перехода к долгосрочным контрактам между производителями и потребителями. Компании, потребляющие специальные стали и спла-

вы, предпочитают строить долгосрочные отношения (5 лет и более), чтобы дать возможность поставщикам выйти на приемлемый уровень по показателям качества и себестоимости.

Основными сферами потребления специальных сталей в мире являются отрасли топливно-энергетического комплекса, производство машин и оборудования, транспортное машиностроение и производство бытовой техники и посуды. Ежегодные темпы роста спроса на специальные стали и сплавы до 2030 г. ожидаются на уровне 4–5 %, что выше прогнозируемой динамики развития чёрной металлургии.

Специальные стали и сплавы в относительно небольших единичных объёмах для условий промышленного комплекса ЛНР используются при производстве:

- метизной продукции специального назначения;
- кованных и штампованных изделий, заготовок деталей, запчастей и готовых изделий для транспорта;
- подъёмно-транспортного, энергетического горно-шахтного, а также котельного оборудования и продукции общего машиностроения;
- высококачественных клапанов для моторных заводов;
- продукции для металлургической, горнодобывающей, химической промышленности и др.

На основании проведённого выше анализа можно с уверенностью утверждать, что в сложившихся условиях наиболее важной стратегической задачей для Народных Республик является реализация концепции металлургических микрозаводов для удовлетворения спроса на внутреннем рынке и создания конкурентоспособной по мировым меркам продукции.

Особенно это актуально при решении задач развития отечественного машиностроения, угледобывающей отрасли, строительной индустрии, транспортной инфраструктуры, ЖКХ, что нашло своё отражение в Программе развития Луганской Народной

Республики на 2018–2023 гг. Отдельные пункты Программы предусматривают:

- сохранение и увеличение темпов и объёмов угледобывающей отрасли;
- восстановление предприятий тяжёлой и лёгкой промышленности;
- ввод в эксплуатацию новых объектов водоснабжения;
- организацию ремонта локомотивов и вагонов;
- замену изношенных сетей ЖКХ;
- восстановление жилья и ликвидацию объектов незавершённого строительства;
- восстановление железных дорог;
- развитие дорожного строительства, ремонт и восстановление мостов и путепроводов и др. [5].

Реализация этих металлоёмких элементов Программы потребует значительного увеличения размерной, конструктивной и марочной номенклатуры продукции металлургической отрасли, производимой в том числе и небольшими партиями, что экономически невыгодно для крупного предприятия.

Очень важным является наличие в Народных Республиках необходимых для создания микрозаводов промышленных площадок в виде действующих предприятий или законсервированных производств, сырьевой базы (металлолома), энергетических сетей, транспортной инфраструктуры, рабочей силы, профильных образовательных учреждений и потребителей продукции.

Кроме отмеченных проблем крупных производителей, связанных с обеспечением внутреннего рынка, нельзя не отметить большую привлекательность мини- и микрозаводов с точки зрения энергобезопасности, сырьевой и логистической гибкости, а также быстрого реагирования на потребности локального рынка. С этими проблемами мы столкнулись в период боевых действий, а также в условиях восстановления пострадавшей инфраструктуры. Отсутствие необходимых энергетических мощностей, разрушенное железнодорожное сообщение и блокада со стороны Украины создали большие трудности при за-

пуске АМК. В то же время многие мелкие производители практически не прекращали производственную деятельность, имея значительно меньшие потребности в электроэнергии, возможность поставок сырья и реализации продукции автомобильным транспортом, а также сориентированные на региональных потребителей.

На первом этапе для условий ЛНР достаточно иметь 2–3 металлургических микрозавода производственной мощностью 50–100 тыс. т/год. Эти предприятия должны быть ориентированы на импортозамещение и обеспечить экономику ЛНР эксклюзивной продукцией с высокой добавленной стоимостью. Однако для такой трансформации металлургической отрасли необходима определённая поддержка новых металлопроизводителей со стороны государства. Эта поддержка должна предусматривать разработку необходимых государственных программ и законодательных актов, стратегическое планирование производства, обеспечение спроса на предполагаемую к производству продукцию и др.

Привлекательность металлургических микрозаводов для современного состояния экономик Народных Республик также можно связать с небольшими начальными инвестициями и их быстрой окупаемостью.

Предложенную трансформацию необходимо начинать с производства относительно дешёвых групп товаров из конструкционных марок сталей (например, для строительной отрасли) с последующим усложнением технологической цепочки. В дальнейшем можно переходить к освоению производства более сложной и прибыльной продукции (например, балок, швеллеров, труб, плоского проката), в том числе и изделий из сложнолегированных сталей специального назначения.

Переход от одной группы продуктов к другой, судя по мировому опыту, обычно сопровождается кратковременным извлечением сверхприбыли, что позволяет получать собственные инвестиционные резервы для дальнейшей модернизации и расширения производства [6].

Для эффективной реализации намеченной стратегии можно использовать имеющийся опыт стран СНГ и в первую очередь Российской Федерации (РФ).

Металлургия РФ входит в пятёрку крупнейших мировых производителей стали. Однако ей также свойственны отмеченные выше недостатки, связанные с нерациональной структурой производства и номенклатурой производимой продукции, географическим расположением металлургических предприятий, необходимостью импорта некоторых видов стальных изделий и полуфабрикатов.

Существующая в отрасли инертность досталась РФ после распада СССР. Крупные металлургические предприятия, занятые выпуском однотипной продукции, не способны оперативно реагировать на изменения рыночного спроса. Кроме того, распад СССР оборвал кооперационные связи со смежными производствами, оказавшимися в других странах.

Для решения этих проблем в РФ разрабатываются и реализуются различные государственные программы, предусматривающие строительство новых сталеплавильных мощностей и в первую очередь мини- и микроразводов в неметаллургических регионах, а также всестороннюю поддержку импортозамещающих производств [7].

В этом направлении предусмотрено развитие производственных баз путём строительства мини- и микроразводов в новых регионах (Восточная Сибирь и Дальний Восток) для обеспечения продукцией металлургической отрасли новых капиталоемких строек (развитие Транссибирской магистрали, космодром «Восточный»), а также реализации крупных стратегических проектов, таких как, например, реконструкция Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей [6].

Если говорить объективно, то у комбинатов полного цикла всегда будет высокая транспортная составляющая в себестоимости. Для Условий РФ среднее расстояние перевозки руды составляет около 1000 км,

произведённого металлопроката — 1500 км, угля — 2500 км. Поэтому в себестоимости 1 т произведённого металла расходы на транспортировку по железной дороге составят от 5000 руб., дополнительные расходы — до 1500 руб., а долговая и кредитная нагрузка комбинатов может достигать 2600 руб. По сравнению с мини- и микроразводами у традиционной металлургии в себестоимости заключены значительные дополнительные расходы в размере 5000–9000 руб./т. При налаженной технологии мини- и микроразвода на 1 т лома приходится 170–230 долларов дополнительных расходов на производство 1 т проката. Экономия может быть достигнута также за счёт оптимизации при условии, что предприятие ориентировано на потребителей продукции и поставщиков сырья, расположенных в радиусе 500 км, и когда возможны альтернативные РЖД виды логистики.

Возрождение строительства новых мини- и микроразводов в РФ началось с 2000-х годов и сейчас их насчитывается более десятка, в частности Ростовский электрометаллургический завод, «Северсталь — Сортовой завод Балаково» (Саратовская область), завод «НЛМК-Калуга», Волжский электрометаллургический завод и др.

С октября 2013 по декабрь 2016 года в РФ начал функционировать Абинский электрометаллургический завод (Краснодарский край), производящий стальную непрерывнолитую заготовку и обеспечивший рабочими местами 860 человек; новый литейный импортозамещающий завод «Балаково-Центролит» (Саратовская область) на 395 рабочих мест стал первым в регионе металлургическим предприятием и будет производить отливки для грузового железнодорожного транспорта в объёмах до 18 тыс. т/год. В г. Невинномысске (Ставропольский край) открылся первый в регионе металлургический завод ООО «Став-Сталь» по производству строительной арматуры до 500 тыс. т/год.

В настоящее время планируется строительство металлургического микроразвода на территории г. Пикалево в Ленинград-

ской области. Предприятие будет заниматься переработкой лома и выпуском строительной арматуры в объёме до 350 тыс. т/год. Это по предварительным расчётам обеспечит вливания в бюджеты всех уровней от 1,0 млрд руб., а также обеспечит 400 новых рабочих мест и более 1500 рабочих мест в смежных производствах на территории Ленинградской области. Реализация проекта намечена на 2020 год.

В Ростовской области реализуется инвестиционный проект по строительству в г. Каменск-Шахтинский металлургического завода по выпуску горячекатаной арматуры производственной мощностью 250 тыс. т/год. На предприятии будет создано 480 рабочих мест.

В Брянской области предполагается строительство металлургического завода неполного цикла по производству наноструктурированного стального металлопроката из лома чёрных металлов производительностью около 200 тыс. т/год.

«Роснефть» планирует строительство металлообрабатывающего и металлопроизводящего комплекса для обеспечения нужд судоверфи «Звезда» объёмом 330 тыс. т/год листа необходимого формата. Сварка малоразмерных листов стали в процессе судостроения до 50 % удорожает цену корпуса и до 10 % в целом по готовому изделию, а это очень большой показатель, снижающий конкурентоспособность. Ближайшим производителем необходимых листов является ЗСМК (г. Новокузнецк), находящийся в 5000 км от Владивостока, а имеющийся в регионе «Амур-металл» не выдержал конкуренции на рынке и с 2013 года находится в стадии конкурсного управления.

Также необходимо отметить, что очень часто мини- и микрозаводы являются основными поставщиками узкоспециализированных видов проката, как например, Гурьевский завод (Сибирь, Кемеровская область), который кроме широкого спектра фасонных и простых профилей является поставщиком четверти всех мелющих

шаров, используемых в измельчении минерального сырья. Более того, благодаря нововведениям, завод наладил производство шаров повышенной объёмной твёрдости, не имеющих аналогов в России. Это позволило ему занять одну из лидирующих позиций в данной области.

Омутнинский металлургический завод, расположенный в Кировской области, является одним из крупнейших производителей стальных фасонных профилей высокой точности среди предприятий чёрной металлургии России и Европы. Его сортамент насчитывает 1200 профилей (автомобилестроение, лифтостроение, горнодобывающая промышленность, станкостроение, судостроение, товары народного потребления и различный сортовой прокат). Этот завод предоставляет разработку профилей по специальным чертежам заказчика, подбор и разработку стали по требованиям заказчика и т. д.

«Бервел» — новый завод, открытый в 2015 г. в Рязанской области, ориентированный на производство калиброванного проката (80 тыс. т/год) и высокопрочного крепежа (27 тыс. т/год), являлся одним из поставщиков продукции для строительства Крымского моста.

При этом существуют предприятия, которые имеют в своём составе несколько мини- и микрозаводов различного характера. К таким предприятиям относится «НМЛК-Урал», завод в Нижних Сергах, производство которых специализируется на традиционной для мини-заводов арматурной стали. Также в состав предприятия «НМЛК-Урал» входят заводы, расположенные в городах Ревда (сталеплавленное производство) и Берёзовский (производство катанки).

Если говорить о Европе, то можно посмотреть на немецкий мини-завод Lech-Stahlwerke (Майтинген, Германия), примерно половину продукции которого составляет арматурная сталь, а половину — точный сортовой прокат для автомобилей немецких марок, таких как «Мерседес» и «БМВ».

Таким образом, можно утверждать, что российский опыт модернизации металлургического комплекса путём расширения сектора мини- и микрозаводов вполне реализуем в условиях Народных Республик Донбасса для повышения эффективности производства металлопродукции и обеспечения потребностей внутреннего рынка стальными изделиями собственного изготовления. Основное отличие заключается в значительно меньших масштабах государств и, соответственно, требуемых объёмах производства. Поэтому для ЛНР и ДНР наиболее целесообразно создание в существующей структуре металлургических предприятий именно микрозаводов.

В качестве основных выводов по данной работе можно отметить следующее:

- структура металлургического комплекса Народных Республик Донбасса не в полной мере удовлетворяет потребности внутреннего рынка, и необходима её трансформация;

- обоснована необходимость внедрения в отечественную практику микрозаводов как нового элемента металлургической отрасли, обеспечивающих удовлетворение адресного спроса на продукцию отрасли в условиях формирования новых рынков сбыта и ограниченных инвестиционных ресурсов;

- с учётом мировых трендов и опыта РФ показано, что наиболее эффективной схемой модернизации металлургического комплекса является реализация стратегии, предусматривающей расширение сектора микрозаводов на базе существующих промышленных площадок, не требующих больших инвестиций, оснащённых совре-

менным оборудованием, способных выпускать эксклюзивную металлопродукцию с высокой добавленной стоимостью, необходимого качества и в объёмах, приемлемых для мелких потребителей металлопродукции;

- для проведения трансформации в условиях отсутствия значительных инвестиций необходима поэтапная её реализация, предусматривающая постепенный переход от производства относительно дешёвых групп товаров к более сложной и прибыльной продукции;

- неотъемлемым элементом успешной модернизации металлургического комплекса является поддержка со стороны государства в вопросах инвестирования, законодательной базы, обеспечения спроса на продукцию;

- в отличие от мирового опыта строительства мини- и микрозаводов, где основными инвесторами таких предприятий, как правило, выступали частные компании, в условиях Народных Республик Донбасса эту функцию должно взять на себя государство.

В ходе дальнейших исследований необходимо проанализировать современное состояние законсервированных и работающих металлургических и машиностроительных предприятий ЛНР и ДНР с целью выбора из них наиболее подходящих для перепрофилирования под концепцию современного микрозавода, а также рассмотреть возможность организации таких производств в структуре интегрированных предприятий, которыми являются АМК и ЕМЗ.

Библиографический список

1. Официальный сайт Всемирной организации стали [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.worldsteel.org>.
2. Рожков, Г. К. Развитие концепции мини-заводов для производства стального проката. [Текст] / Г. К. Рожков, С. А. Левандовский // Калибровочное бюро. — 2018. — № 12. — С. 5–9.
3. Зиновьев, Н. Г. Перспективы развития чёрной металлургии Индии (Сообщение 1) [Текст] / Н. Г. Зиновьев // Чёрная металлургия. Бюл. НТИЭИ. — 2017. — № 8. — С. 3–13.
4. Стратегии успешного управления в условиях «Новой нормальности» [Текст] / DANIELI. Реальные инновации. DaNews : 4-я конференция. — 2018. — № 177. — С. 3–37.

5. Программа развития Луганской Народной Республики на 2018–2023 гг.

6. Тищенко, Е. Б. Современное состояние отрасли чёрной металлургии в Российской Федерации и предпосылки её модернизации [Текст] / Е. Б. Тищенко, Д. М. Федотов // Экономика и управление. — 2015. — № 5. — С. 48–52.

7. Об утверждении Стратегии развития чёрной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года [Электронный ресурс] : Приказ Минпромторга России от 05.05.2014 № 839 // КонсультантПлюс. — Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

© Куберский С. В.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В.,
зам. нач. ЦЛК Филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» Тарасовым В. Н.*

Статья поступила в редакцию 25.11.19.

Куберський С. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

АКТУАЛЬНІСТЬ СТВОРЕННЯ МІКРОЗАВОДІВ В СТРУКТУРІ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ НАРОДНИХ РЕСПУБЛІК ДОНБАСУ

Розглянуто основні тенденції розвитку сучасного виробництва сталі в світі. Проведено аналіз номенклатури і обсягів виробництва сталі в умовах Народних Республік Донбасу. Показано переваги сталеплавильних мікрозаводів і обґрунтовано необхідність впровадження їх у вітчизняну практику як нового елементу металургійної галузі. Запропоновано стратегію поетапної трансформації чорної металургії.

Ключові слова: металургія, сталь, стратегія, трансформація, модернізація, інтегровані підприємства, мікрозавод, переваги, продукція, ринок збуту.

PhD in Engineering Kuberskiy S. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

ACTUALITY OF BUILDING THE MICRO-PLANTS IN THE METALLURGICAL COMPLEX OF THE PEOPLE'S REPUBLICS OF DONBASS

There have been studied the main development trends of present-day steel production in the world. The analysis of the range of manufacture and volumes of steel production in the conditions of the People's Republics of Donbass is carried out. The advantages of steelmaking micro-plants are shown and the necessity of their introduction into domestic practice as a new element of the metallurgical industry is substantiated. The strategy of gradual transformation of ferrous metallurgy is proposed.

Key words: metallurgy, steel, strategy, transformation, modernization, integrated enterprises, micro-plant, advantages, output, market outlets.

УДК 669.046.55:669.14

к.т.н. Белов Б. Ф.,
д.т.н. Бабанин А. Я.
(ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР),
д.т.н. Пономаренко А. Г.,
Абакумов И. А.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

КЛАССИФИКАЦИЯ СПЛАВОВ СИЛИКОКАЛЬЦИЯ И МЕХАНИЗМ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ

На основании результатов проведённых исследований выполнена и представлена классификация силицидов кальция в твёрдом и жидком состоянии. Представленная классификация и структуризация характеризует структурно-химическое состояние как равновесных, так и промежуточных фаз данной системы. Представлен и описан механизм рафинирования стали и модифицирования неметаллических включений с указанием конкретных параметров процесса.

Ключевые слова: силициды кальция, структурно-химическое состояние, металлическая Si-Ca система.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Силициды кальция являются термодинамической системой процессов окисления сплавов силикокальция при раскислении стали. В настоящее время металлическая Si-Ca система изучена в недостаточной степени, отсутствие данных о структурно-химических изменениях силицидов кальция в стабильных и промежуточных фазах является серьёзной проблемой в совершенствовании и разработке новых технологий.

Поэтому исследование и изучение металлической Si-Ca системы на предмет изменения её структурно-химического состояния в зависимости от температуры применительно к разработке более наукоёмких и эффективных технологий рафинирования и микролегирования стали для перевода её качества на более высокий уровень является актуальной и необходимой задачей.

Постановка задачи. Имеющиеся данные по результатам исследования вышеуказанной системы основаны на закономерностях равновесной термодинамики, лежащей в основе существующего классического материаловедения. Данные результаты имеют значительные неточности и являются неприемлемыми в связи с но-

выми представлениями о физико-химических процессах, протекающих в жидком металле на наноуровне и преимущественно в стохастическом состоянии.

Это является существенной проблемой, не позволяющей управлять процессом образования неметаллических включений и обеспечения их заданного структурно-химического состояния, которое определяет уровень качества, механических и служебных свойств металлопродукции.

Задачей данной работы является исследование структурно-химического состояния металлической Si-Ca системы.

Изложение материала и его результаты. Системным классификатором сплавов силикокальция является полигональная диаграмма системы «кремний-кальций», построенная ПДС-методом (полигональная диаграмма состояния Ca-Si) [1], представленная на рисунке 1, а основные её параметры — в таблице 1. Данная ПДС включает последовательный ряд 9-ти промежуточных фаз — силицидов кальция: $\text{Ca} \rightarrow \text{CaO}_{12}\text{Si}(\text{Э}) \rightarrow \text{Ca}_4\text{Si} \rightarrow \text{Ca}_2\text{Si} \rightarrow \text{CaSi} \rightarrow \text{CaSi}_2 \rightarrow \text{CaSi}_3 \rightarrow \text{CaSi}_4 \rightarrow \text{CaSi}_6 \rightarrow \text{CaSi}_{24} \rightarrow \text{Si}$. Первичной фазой является двухкальциевый силицид — Ca_2Si , образующийся при восстановлении первичного си-

ликата кальция 2CaOSiO_2 , существующего ПДС CaO-SiO_2 (рис. 1).

Первичная промежуточная фаза ПДС Ca-Si разделяет на две подсистемы $\text{Ca-Ca}_2\text{Si}$ и $\text{Si-Ca}_2\text{Si}$, в которых образуются вторичные фазы в твёрдом или жидком состоянии. Ca_2Si и CaSi двух модификаций (α , β) образуются в твёрдом состоянии и плавятся конгруэнтно. На линии ликвидуса (жирная линия) в сингулярных точках $\text{C}_3 \rightarrow \text{Э} \rightarrow 2\text{C}^\circ \rightarrow \text{K}^\circ \rightarrow 2\text{K} \rightarrow 3\text{K} \rightarrow \text{K}_5$ находятся фазы, которые плавятся конгруэнтно и существуют в области гомогенности жидкого состояния $\text{L}_\text{C}^{\text{ПД}} \rightarrow \text{Э}^\text{Ж} \rightarrow \text{L}_{2\text{C}} \rightarrow \text{L}_{\text{K}^\circ} \rightarrow \text{L}_{2\text{K}} \rightarrow \text{L}_{3\text{K}} \rightarrow \text{L}_\text{K}^{\text{ПД}}$, соответственно.

При температурах ниже ликвидуса находятся твёрдые растворы — моноструктурные (М) и двухструктурные (Д) выше или ниже температуры их образования: $\text{M}_{4\text{C}}/\text{D}_{4\text{C}} \rightarrow \text{D}_{2\text{C}} \rightarrow \text{D}_{\text{K}^\circ} \rightarrow \text{D}_{2\text{K}} \rightarrow \text{D}_{3\text{K}} \rightarrow \text{M}_{4\text{K}}/\text{D}_{4\text{K}} \rightarrow \text{M}_{6\text{K}}/\text{D}_{6\text{K}} \rightarrow \text{M}_{24\text{K}}/\text{D}_{24\text{K}}$.

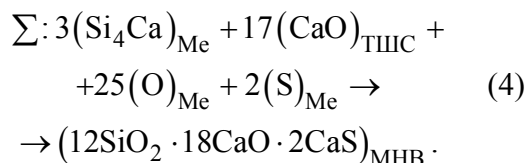
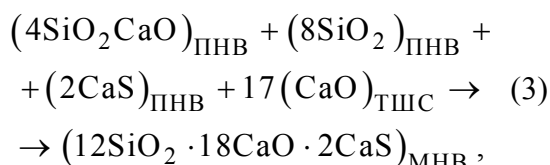
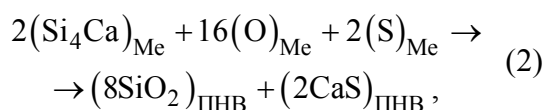
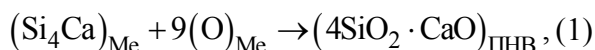
Эвтектика (Э) существует в жидком состоянии ($\text{Э}_\text{ж}$) и при охлаждении распадается на исходные компоненты с образованием двухструктурного твёрдого ($\text{Э}_\text{т}$) раствора [2].

Для исходных компонентов структурные превращения происходят при заданных температурах в результате тепловых (термических) воздействий или при взаимодействии с промежуточными фазами (химические). Для кальция: $\text{C}_\alpha \rightarrow \text{C}_\beta \rightarrow \text{C}_\gamma$ в твёрдом состоянии и $\text{L}_\text{C}^{\text{ПД}} \rightarrow \text{L}_\text{C}^{\text{ПГ}} \rightarrow \text{L}_\text{C}^{\text{РАЗ}}$ в жидкости. Для кремния: $\text{K}_\alpha \rightarrow \text{K}_\beta \rightarrow \text{K}_\gamma \rightarrow \text{K}_\delta \rightarrow \text{K}_\chi$ в твёрдом и в жидкости $\text{L}_\text{K}^{\text{ПД}} \rightarrow \text{L}_\text{K}^{\text{ПГ}} \rightarrow \text{L}_\text{K}^{\text{РАЗ}}$. Температура при C_1 отвечает полиморфному превращению $\alpha\text{-Ca} \rightarrow \beta\text{-Ca}$ при 450°C [3], C_2 — химическая точка в результате взаимодействия кальция с Ca_4Si при 600°C , остальные точки от температуры плавления ($\text{C}_3 = 850^\circ\text{C}$) до точки кипения ($\text{C}_6 = 1500^\circ\text{C}$) отвечают структурным переходам $\text{L}_{\text{ПД}} \rightarrow \text{L}_{\text{ПГ}} \rightarrow \text{L}_{\text{РАЗ}}$. Температуры для кремния в точках K_1 (450°C) $\rightarrow \text{K}_2$ (700°C) $\rightarrow \text{K}_3$ (800°C) относятся к структурным превращениям в результате химических взаимодействий кремния с промежуточными фазами. Температура в точке K_4 (1200°C) отвечает переходу «полупроводник—металл» [4, 5]. Выше точки плавления

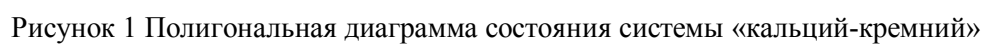
K_5 (1420°C) при 1500°C (т. K_6) и при 1600°C (т. K_7) происходят структурные превращения $\text{L}_{\text{ПА}} \rightarrow \text{L}_{\text{ПГ}} \rightarrow \text{L}_{\text{РАЗ}}$ в жидком кремнии [6]. Вставка на рисунке 1 [7] включает интерметаллиды $\text{Ca}_2\text{Si} \rightarrow \text{CaSi} \rightarrow \rightarrow \text{Ca}_3\text{Si}_4 \rightarrow \text{CaSi}_2$, которые представлены ПДС Si-Ca . Интерметаллид Ca_3Si_4 является твёрдым раствором на базе CaSi .

Механизм рафинирования, образования и модифицирования (глобуляризация) неметаллических включений исследован в рамках теории МГС-фаз стохастическим анализом [8] последовательного ряда структурно-химических реакций раскисления и десульфурации стали.

При использовании сплавов силикокальция марки СК25 (Si_4Ca) и обожжённой извести (CaO)_{ТШС} структурно-химические реакции рафинирования представлены последовательным рядом:



Реакции (1, 2) — раскисление и десульфурация стали с образованием первичных неметаллических включений (ПНВ), реакция (3) — модифицирование неметаллических включений (МНВ) при взаимодействии ПНВ и извести с образованием оксисульфидной фазы эвтектического состава типа ранкинита $2\text{SiO}_2 \cdot 3(\text{CaO} + \text{CaS})$ на ПДС CaO-SiO_2 . При температурах металлического расплава эвтектическая фаза существует в жидком состоянии и сохраняет глобулярную форму когерентно связанную с металлической матрицей.



МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Таблица 1

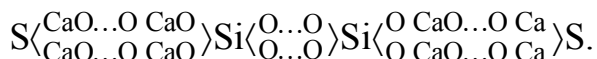
Классификация сплавов силикокальция

Промежуточные фазы									
№ п/п	Линейные системы	Химические реакции	Стехиометрический состав	Услов. обозначения	Химический состав, масс. %	*Температура, °С		Плотность, г/см³	Марочный состав
						Si	Si/Ca		
1	Si-Ca	Si+2Ca↔SiCa₂ 3(SiCa₂)↔SiCa₃+2(SiCa)	SiCa₂	1,2(2K)	25,9	0,35	450 н.д.	1000 н.д.	C25K75
2	Ca-SiCa₂	SiCa₂+2Ca↔SiCa₄	SiCa₄	1,4(4K)	14,9	0,18	600 н.д.	н.д.	C15K85
3	Ca-SiCa₄	8Ca+SiCa₄↔SiCa₁₂	SiCa₁₂	1,12(Э)	5,5	0,06	750 760	750 760	C5K95
4	Si-SiCa₂	Si+SiCa₂↔2(SiCa) 4(SiCa)↔SiCa₂+Si₃Ca₂	SiCa	1,1(CK)	41,2	0,70	700 н.д.	1250 1245	C40K60
5	SiCa-Si₄Ca	2(SiCa)+Si₄Ca↔3(Si₂Ca) 3(Si₂Ca)↔Si₃Ca₂+Si₃Ca	Si₂Ca	2,1(2C)	58,3	1,40	1000 1000	1000 1000	C60K40
6	Si-SiCa	3Si+SiCa↔Si₄Ca	Si₄Ca	4,1(4C)	73,7	2,8	800 н.д.	н.д.	C70K30
7	Si~Si₄Ca	20Si+Si₄Ca↔Si₂₄Ca Si₂₄Ca↔18Si+Si₆Ca	Si₂₄Ca	24,1(24C)	97,3	36,0	900 н.д.	н.д.	C95K5
8	Si₂Ca-Si₄Ca	Si₂Ca+Si₂₄Ca↔2(Si₃Ca)	Si₃Ca	3,1(3C)	67,7	2,1	1100 н.д.	1100 н.д.	C65K35
9	Si₄Ca-Si₂₄Ca	9(Si₄Ca)+Si₂₄Ca↔10(Si₆Ca)	Si₆Ca	6,1(6C)	80,8	4,2	1000 н.д.	н.д.	C80K20

Суммарная реакция (4) материального баланса позволяет рассчитать количество присадочных материалов, степень раскисления, десульфурации, а также состав и количество МНВ. При расходе сплава СК25 в количестве 1,0 кг/т потребуется 2,0 кг/т $(\text{CaO})_{\text{ТШС}}$ для удаления 870 ppm кислорода + 140 ppm серы и 4,1 кг/т МНВ.

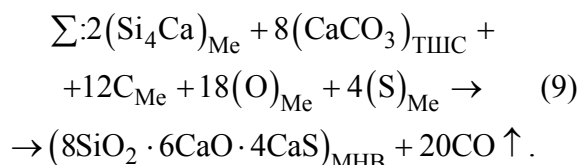
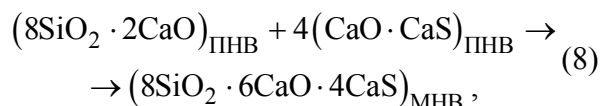
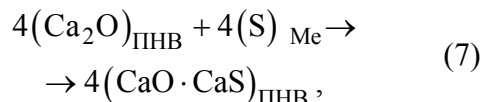
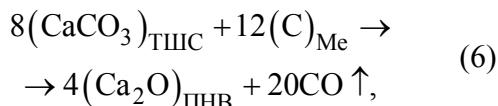
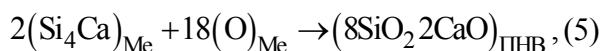
Химический состав (масс.%) МНВ: $38,5\text{SiO}_2 + 53,8\text{CaO} + 7,7\text{CaS}$ при основности $B = \text{CaO} + \text{CaS}/\text{SiO}_2 = 1,6$; адсорбционная ёмкость (масс.%) по сере $A_S = 3,42$, по кислороду $A_O = 21,4$.

МНВ стехиометрического состава $12\text{SiO}_2 \cdot 18\text{CaO} \cdot 2\text{CaS}$ содержит 76 частиц (N) в структурной формуле $\text{Si}_{12}\text{Ca}_{20}\text{O}_{42}\text{S}_2$, которая представлена полигональной ячейкой (ПГЯ) СИМ-комплекса (сокращённая форма записи):



Геометрические параметры, рассчитанные по орбитальным радиусам модели ром-атома для ионного типа химической связи Si^{4+} , Ca^{2+} , O^{2-} и S^{2-} , составляют: длина $L_{\text{ПГЯ}} = 4,43$ нм; площадь $S_{\text{ПГЯ}} = 0,885$ нм² и относительная плотность упаковки $S_0 = S_{\text{ПГЯ}}/N = 0,0116$.

При замене гигроскопичной обожжённой извести воздушно-сухим известняком CaCO_3 структурно-химические реакции рафинирования представляют последовательный ряд:

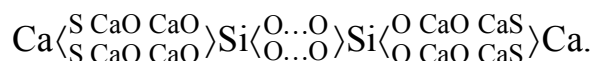


Реакция (5) — раскисление с образованием первичных неметаллических включений — силикатов кальция. Реакция (6) — разложение известняка в присутствии углерода с образованием активированной извести — низшего оксида кальция — Ca_2O с высокой химической активностью к сере в раскислённом металле (реакция 7). Реакция (8) — образование модифицированных МНВ при взаимодействии первичных неметаллических включений (ПНВ).

Суммарная реакция (9) материального баланса определяет расход присадочных материалов и степень рафинирования. При расходе 1,0 кг/т СК25 + $2,63\text{CaCO}_3 + 0,42\text{C}$ удаляется 940 ppm $(\text{O})_{\text{Ме}} + 420$ ppm $(\text{S})_{\text{Ме}}$ с образованием 3,63 МНВ + $0,56\text{CO}$. Окись углерода способствует перемешиванию и усреднению состава металлического расплава, а также восстановлению оксидов железа и марганца в шлаке и образованию теплового экрана на его поверхности при дожигании в воздушной атмосфере.

Химический состав МНВ (масс.%) : $43,5\text{SiO}_2 + 30,4\text{CaO} + 26,1\text{CaS}$ при основности $B = 1,3$; $A_S = 11,6$; $A_O = 26,1$.

МНВ стехиометрического состава $8\text{SiO}_2 \cdot 6\text{CaO} \cdot 4\text{CaS}$ содержит 44 частицы в структурной формуле $\text{Si}_8\text{Ca}_{10}\text{O}_{22}\text{S}_4$ полигональной ячейки СИМ-комплекса:



Геометрические параметры ПГЯ: $L_{\text{ПГЯ}} = 3,12$ нм; $S_{\text{ПГЯ}} = 0,625$ нм²; $S_0 = 0,0142$.

Сопоставленный анализ рафинирования стали сплавами силикокальция марки СК25, отвечающего составу твёрдого раствора на базе интерметаллида Si_4Ca , существующего на ПДС Ca-Si, показывает высокую эффективность использования известняка в смеси с углеродистыми материалами при соотношении $\text{C}:\text{CaCO}_3 = 1:(5,0-6,0)$ вместо обожжённой извести с образованием жидкоподвижных окисульфидных фаз при температурах металлического расплава и глобулярных в твёрдом металле. Глубина раскисления увеличивается на 70 % при сокращении количества неметаллических включений на 10–15 %.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, в результате проведенных исследований выполнена и представлена классификация по химическому составу и структуризация по структурному состоянию силицидов кальция в твердом и жидком состоянии.

Представленная классификация и структуризация силицидов кальция характеризует структурно-химическое состояние как равновесных, так и промежуточных фаз данной системы. Кроме того, представлен и описан механизм рафинирования стали и модифицирования неметаллических включений с указанием конкретных параметров процесса. Применение полученных результатов исследований позволяет оптимизировать обработку ста-

ли сплавами кальция. В частности, показана высокая эффективность использования известняка в смеси с углеродистыми материалами при соотношении $C:CaCO_3 = 1:(5,0-6,0)$ вместо обожженной извести, обеспечивающего образование неметаллических включений в виде жидкоподвижных оксисульфидных фаз при температурах металлического расплава и глобулярных в твердом металле. Глубина раскисления увеличивается на 70 % при сокращении количества неметаллических включений на 10–15 %.

Целесообразно проведение дальнейших исследований в этом направлении для отработки данной технологии в промышленных условиях.

Библиографический список

1. Пат. № 89504 Украины, C21C7/06. Сплав кремнію з кальцієм / Б. Ф. Белов. — Оубл. 25.04.14, Бюл. № 8.
2. Залкин, В. М. Природа эвтектических сплавов и эффект контактного плавления [Текст] / В. М. Залкин. — М.: Металлургия. — 1987. — 152 с.
3. Краткий справочник по химии / под общ. ред. чл.-кор. АН УССР О. Д. Куриленко. — [4-е изд., испр. и доп.]. — К.: Наукова думка, 1974. — 992 с.
4. Вейнов, А. М. Твердофазные превращения в заэвтектических силуминах [Текст] / А. М. Вейнов, Р. Е. Великоцкий // Металловедение и термическая обработка металлов: материалы научно-технической конференции. — Донецк, 1996. — С. 86–87.
5. Куцова, В. З. Структурные превращения кремния и их влияние на кристаллизацию силуминов [Текст] / В. З. Куцова, К. И. Узлов // Теория и практика металлургии. — 1997. — № 2. — С. 19–23.
6. Туровский, Б. М. Исследование температурной зависимости вязкости расплавленного кремния [Текст] / Б. М. Туровский, И. И. Иванова // Изв. АН СССР, Неорг. материалы. — 1974. — № 12. — С. 19–23.
7. Хансен, М. Структура двойных сплавов [Текст] / М. Хансен, К. М. Андерко. — М.: Металлургиздат, 1962. — 1608 с.
8. Белов, Б. Ф. Аналіз стохастичних металургійних за допомогою балансових рівнянь сумарних структурно-хімічних реакцій [Текст] / Б. Ф. Белов, А. І. Троцан, І. Л. Бродецкий та ін. // Свідоцтво прав автора на твір. — ПА № 54359 від 02.04.2014.

© Белов Б. Ф.

© Бабанин А. Я.

© Пономаренко А. Г.

© Абакумов И. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Куберским С. В.,
д.т.н., проф., зав. каф. АДА ДонНАСА Брачуном В. И.*

Статья поступила в редакцию 20.11.19.

к.т.н. Бєлов Б. Ф. (ДонНАБА, м. Макіївка, ДНР, *belosvet100mail.ru*), **д.т.н. Бабанін А. Я.** (ДонНАБА, м. Макіївка, ДНР, *bay1957@mail.ua*), **д.т.н. Пономаренко А. Г.** (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР), **Абакумов І. А.** (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР, *pervuhin.mitya@yandex.ru*)
КЛАСИФІКАЦІЯ СПЛАВІВ СИЛІКОКАЛЬЦІЮ ТА МЕХАНІЗМ РАФІНУВАННЯ СТАЛІ

На підставі результатів проведених досліджень виконано і подано класифікацію силіцидів кальцію в твердому і рідкому стані. Представлена класифікація і структуризація характеризує структурно-хімічний стан як рівноважних, так і проміжних фаз даної системи. Представлено і описано механізм рафінування сталі і модифікування неметалевих включень із зазначенням конкретних параметрів процесу.

Ключові слова: силіциди кальцію, структурно-хімічний стан, металева Si-Ca система.

PhD in Engineering Belov B. F. (DonNABA, Makeyevka, DPR, *belosvet100mail.ru*), **Doctor of Technical Sciences Babanin A. Ya.** (DonNABA, Makeyevka, DPR, *bay1957@mail.ua*), **Doctor of Technical Sciences Ponomarenko A. G.** (DonNTU, Donetsk, DPR), **Abakumov I. A.** (DonNTU, Donetsk, DPR, *pervuhin.mitya@yandex.ru*)

CLASSIFICATION OF SILICOCALCIUM ALLOYS AND MECHANISM OF STEEL REFINING

The classification of calcium silicides in solid and liquid state is performed and presented on the basis of the research results. The presented classification and structuring characterize the structural and chemical state of both equilibrium and intermediate phases of the system. The mechanism of steel refining and modification of non-metallic inclusions with the indication of specific process parameters is presented and described.

Key words: calcium silicides, structural and chemical state, metallic Si-Ca system.

**СТРОИТЕЛЬСТВО
И АРХИТЕКТУРА**

**БУДІВНИЦТВО
І АРХІТЕКТУРА**

**CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

УДК 624.072.002.2

к.т.н. Псюк В. В.,
Никишина И. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

УСИЛЕНИЕ И ПРАВКА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТРУБ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ

В статье рассматривается возможность усиления и правки элементов из труб квадратного сечения различной гибкости, которые имели остаточный прогиб после проведения испытания на устойчивость. Предложена методика расчёта параметров правки стальных элементов путём наплавки холостых валиков на растянутой стороне образцов. Изменение остаточного напряжённого состояния конструкций после наплавки сварных швов прогнозируется расчётным путём и подтверждено результатами экспериментальных исследований.

Приведены результаты экспериментального определения устойчивости сжатых элементов из труб квадратного сечения в состоянии поставки и после правки предварительно испытанных образцов.

Ключевые слова: усиление, правка, стальные конструкции, остаточные напряжения, устойчивость, квадратное сечение, сварка.

Постановка проблемы. Работа усиливаемых конструкций чрезвычайно сложна и зависит от множества факторов как конструктивного, так и технологического характера. При разработке методов расчёта усиливаемых конструкций это обуславливает необходимость отказа от учёта ряда второстепенных факторов и внесения упрощающих предпосылок [1].

Выбор схемы усиления стержневых конструкций является многовариантной задачей. Учитывая современный уровень развития методов расчёта и проектирования конструкций, а также многообразие возможных схем и приёмов усиления, разработка общего подхода к задачам оптимизации представляется делом будущего. Решение задач оптимизации осложняется ещё и тем, что основным критерием оптимальности усиления зачастую является не экономия материала или снижение стоимости комплекса работ по усилению, а обеспечение наибольшей его технологичности. При этом под технологичностью понимается не удобство проведения работ, а возможность их осуществления без остановки производства в минимальные сроки с целью снижения экономических потерь предприятия при реконструкции.

Усиление наращиванием сечения целесообразно проводить для относительно ровных элементов. Обеспечение плотного прилегания элемента усиления к усиливаемой конструкции с последующей сваркой позволяет обеспечить в дальнейшем надёжную работу составного сечения и, наоборот, приварка элемента усиления к изогнутой конструкции может свести на нет весь ожидаемый эффект от усиления.

В силу всего вышесказанного предполагается, что речь идёт о расчёте усиления конструкции по вполне определённой схеме с заранее заданными параметрами и при известных воздействиях на неё. В частности, наличие остаточного напряжённого состояния, обусловленного сваркой и другими видами локальных термических воздействий (например, при выравнивании сваркой) будет способствовать увеличению или уменьшению несущей способности, а значит, и увеличению или уменьшению срока службы (ресурса) конструкции.

Основная часть. Особенности расчёта усиливаемых стержневых систем связаны в первую очередь с нарушением естественного характера их деформирования, особенно при усилении под нагрузкой. В

связи с этим основное внимание в дальнейшем будет уделено вопросам определения напряжённо-деформированного состояния (НДС) усиливаемых систем в процессе усиления и последующей работы [1].

Несмотря на упрощения и идеализацию расчётных схем, задачи расчёта усиливаемых конструкций остаются сложными и в большинстве случаев могут быть реализованы только на ЭВМ. Одной из особенностей таких расчётов является необходимость в ряде случаев моделировать и технологию усиления, поскольку она оказывает существенное влияние на работу усиливаемых систем. Численные расчёты позволяют получать решения конкретных задач только при заданных параметрах системы, её начальных и граничных условиях и определённой технологии производства работ. В этом отношении численное моделирование подобно натурному эксперименту, с тем, однако, преимуществом, что оно допускает дифференцированно оценить влияние того или иного фактора (а не их совокупности) на работу усиливаемой конструкции и её элементов [2].

Особое внимание следует обращать на наличие остаточного напряжённого состояния (ОНС). Наличие сварных швов и термических воздействий вызывает появление в элементах металлоконструкций остаточных напряжений (ОН), которые влияют как на устойчивость отдельных элементов, так и на несущую способность и деформативность конструкций в целом. Влияние ОН на устойчивость сжатых элементов неоднозначно. ОН растяжения на кромках повышают устойчивость, а напряжения сжатия снижают её. Степень этого влияния зависит от распределения ОН по сечению и от жёсткости последних.

Между тем существующие расчётные методики, в первую очередь ДБН В.2.6-163:2010 [3] и ДБН В.2.3-14:2006 [4], не учитывают возможности повышения или снижения несущей способности сжатых элементов после наплавки сварных швов на кромках поясов.

Теоретические исследования ОНС в сварных конструкциях, история их развития и степень влияния на несущую способность сварных конструкций подробно рассмотрены в работах [5, 6] и др.

Методики определения напряжённо-деформированного состояния сжатых усиленных элементов с учётом наличия ОНС и его влияния на устойчивость разработаны при следующих предпосылках [1, 5, 6 и др.]:

1. Рассматриваются только продольные напряжения σ_x . Поперечные напряжения σ_y и касательные τ_{xy} считаются равными нулю.

2. Деформации определяются гипотезой плоских сечений.

3. Модуль упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона стали постоянны во всём диапазоне температур.

4. Зависимость предела текучести стали от температуры схематизирована по типу, показанному на рисунке 1. На этом рисунке: T — температура нагрева.

5. Материал элементов (сталь) представляет собой однородный упруго-пластический материал (рис. 2). На этом рисунке: $\varepsilon_{el} = R_y / E_s$ — условная максимальная упругая деформация (R_y , E_s — соответственно расчётное сопротивление и модуль упругости стали).

6. Свариваемые пластины шириной B считаются достаточно длинными, температура по толщине пластины распределяется равномерно [5, 6 и др.].

7. Остаточными напряжениями вследствие прокатки (в общем случае) пренебрегают ввиду их относительной малости, сложной и непредсказуемой ориентации.

8. ОНС (эпюры остаточных напряжений и деформаций) принимаются идеализированными.

9. Исследуется устойчивость II рода (деформации и прогибы растут с начала приложения нагрузки).

10. В случае нагружения многократно повторного, знакопеременного или цикли-

ческого деформирование первоначально происходит в системе координат « $M_1 - \kappa_1$ », разгрузка начинается с точки p_1 и кривизны $\kappa_{p,1}$ ($\kappa_{p,2}, \dots, \kappa_{p,i}$) и жёсткость расчётного сечения в этой точке при разгрузке равна $B_{red} = E_s \cdot I_{red}$, где $E_s \cdot I_{red}$ — «упругая» жёсткость сечения. Деформирование элемента проходит в новой системе координат « $M_{2,1} - \kappa_{2,1}$ » (« $M_{2,2} - \kappa_{2,2}$ », ..., « $M_{2,i} - \kappa_{2,i}$ ») по кривой 2 (рис. 3); нахождение жёсткостей сечений при разгрузке аналогично нахождению жёсткостей при однократном нагружении [8, 9 и др.], т. е.

$$B_{2,i,j} = M_{2,i,j} / \kappa_{2,i,j}, \quad (1)$$

где $B_{2,i,j}$, $M_{2,i,j}$, $\kappa_{2,i,j}$ — соответственно жёсткость, изгибающий момент и кривизна i -го сечения в системе координат « $M_{2,1} - \kappa_{2,1}$ » (« $M_{2,2} - \kappa_{2,2}$ », ..., « $M_{2,i} - \kappa_{2,i}$ »). Индексация в формуле (1): 2 — кривая разгрузки; i — номер этапа разгрузки; j — текущие значения параметров (жёсткости, момента, кривизны) на i -ом этапе разгрузки. При дальнейшем деформировании кривая разгрузки 2 совпадает с кривой 3 нагружения в обратном направлении.

Зависимость « $M - \kappa$ » в системе координат « $M_{2,i} - \kappa_{2,i}$ » с достаточной для расчётов точностью может быть описана кубическим уравнением или аппроксимирована методом наименьших квадратов. Величины изгибающих моментов определяются по обычным правилам строительной механики.

В случае многократно повторного нагружения (рис. 3) после разгрузки (достижения точек $\kappa_{0,1}$, $\kappa_{0,2}$, ..., $\kappa_{0,i}$ на оси абсцисс, для которых $M_0 = 0$) дальнейшее нагружение производится по кривой 4, и начальная жёсткость расчётного сечения в этой точке при дальнейшем нагружении равна $B_{red} = E_s \cdot I_{red}$. Кривая 4 в дальнейшем совпадает с кривой 1.

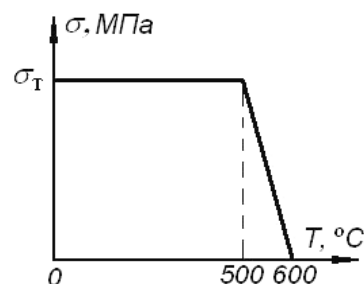


Рисунок 1 Зависимость предела текучести стали от температуры [5, 6]

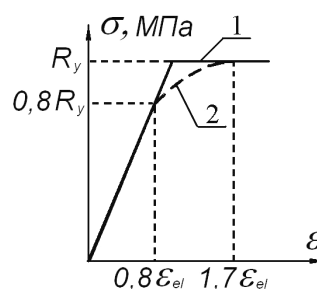


Рисунок 2 Диаграммы « $\sigma - \varepsilon$ » стали [6]: 1 — идеализированная; 2 — унифицированная

11. Закрепление элемента обеспечивает сохранение плоской формы изгиба (изгибно-крутильная форма потери устойчивости невозможна). Возможность изгибно-крутильной формы потери устойчивости оценивается по методике, рекомендованной нормами [3].

12. Деформирование происходит в плоскости меньшей или большей жёсткости.

13. Деформации продольной оси и сближение концов элемента под нагрузкой малы по сравнению с ростом прогиба.

14. Деформированное состояние сечений характеризуется кривизной κ .

15. Предельное состояние элемента считается достигнутым, если:

– достигнут максимум на кривой состояния (предельное состояние первой группы), т. е. выполнен критерий (рис. 4)

$$\frac{dq_1}{df} = 0, \quad (2)$$

где q_1 — модуль вектора силового воздействия; f — характерное перемещение конструкции;

– разрушено сечение элемента (потеря местной устойчивости сжатого пояса, стенки или достигнута максимальная величина деформаций в сжатом поясе — предельное состояние первой группы);

– произошла потеря устойчивости формы, приводящая к затруднению нормальной эксплуатации (предельное состояние второй группы).

16. Появление остаточного прогиба после разгрузки возможно, если материал элемента перешёл в пластическое состояние. Выравнивание возможно путём наплавки холостых валиков на растянутой стороне образцов (рис. 5). Зоны остаточных растягивающих напряжений (ОН) могут быть представлены в виде внешних сил, значения которых изменяются в процессе последующего нагружения (схемы наплавки валиков и распределения ОН после наплавки для некоторых форм сечений приведены на рисунке 6).

Форма изогнутой оси после наплавки может быть описана уравнениями метода начальных параметров, полученными на основе аппроксимации уравнения изогнутой оси кубическим сплайном [6 и др.]. Для этой цели длина элемента L разбивается на

n участков и в каждой i -ой точке разбиения определяется кривизна κ_i . Величины прогнозируемых выгибов y_i и углов поворота φ_i определяются по формулам:

$$y_i = y_1 + \varphi_1 \cdot L \cdot \frac{i-1}{n} + \frac{L^2}{6 \cdot n^2} \times \left[(3 \cdot i - 4) \cdot \kappa_1 + 6 \cdot \sum_{j=2}^{i-1} (i-j) \cdot \kappa_j + \kappa_i \right] + (3) + q_d \cdot (\delta_1 - \delta_i),$$

$$\varphi_i = \varphi_1 + \frac{L}{2 \cdot n} \cdot (\kappa_1 + 2 \cdot \sum_{j=2}^{i-1} \kappa_j + \kappa_i). \quad (4)$$

В общем случае рассматривается наплавка холостых валиков на части длины выравниваемого элемента. Кривизну сечения можно определить по формуле (рис. 6)

$$\kappa_i = \frac{\sigma_{res,com}^{(f)} - \sigma_{res,ten}^{(f)}}{E \cdot h}, \quad (5)$$

где h — расстояние между точками сечения, где величины ОН равны $\sigma_{res,com}^{(f)}$, $\sigma_{res,ten}^{(f)}$.

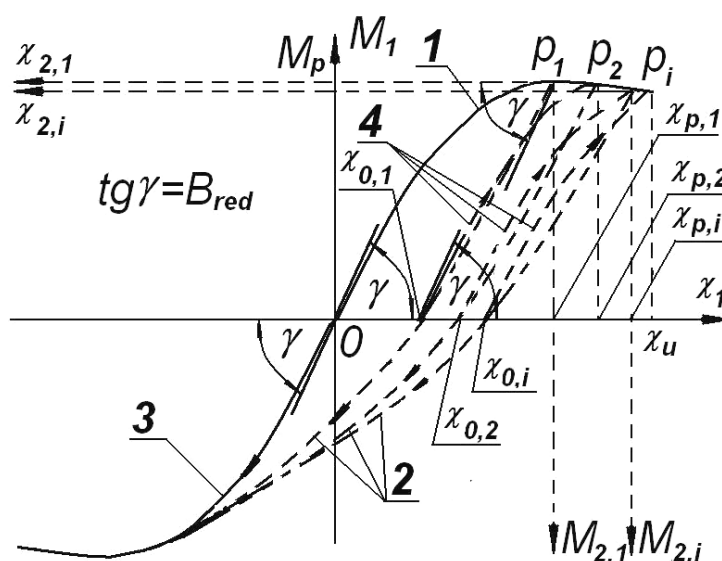


Рисунок 3 Диаграммы « $M - \kappa$ » при многократном, знакопеременном и циклическом режимах нагружения

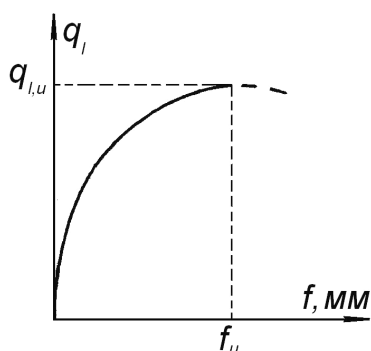


Рисунок 4 Диаграммы состояния системы

Величины ОН в сечении могут быть определены по известным методикам, например [6], с учётом несимметричности наплавки. Длина зоны наплавки L_{weld} , параметры холостого валика и другие технологические параметры процесса устанавливаются методом подбора, с их постепенным изменением для получения прогнозируемого выгиба, величина которого должна быть равна остаточному выгибу элемента после разгрузки.

Выполняем проверку условия

$$0 < \frac{q_{nm}}{A_{mp}} < 625 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{см}^3} \right), \quad (6)$$

где A_{mp} — площадь поперечного сечения трубы, см^2 .

Если условие не выполняется, тогда изменяем длину участков, на которые наплавляют холостые валики, исходя из условия допустимого прогиба, и выполняем расчёт заново.

Определяем величину тока:

$$I_{св} = \frac{v_{св} \cdot q_{nm}}{0,24 \cdot U \cdot \eta}, \quad (7)$$

где $v_{св}$ — скорость сварки, принимают $v_{св} = 1,0 \div 1,2$ см/сек, U — напряжение дуги, принимают $U = 20 \div 36$ В; η — КПД нагрева изделия для дуговой сварки, принимают $\eta = 0,6 \div 0,85$; 0,24 — коэффициент, учитывающий влияние, оказываемое несинусоидальностью кривых напряжения и тока на мощность дуги при сварке на переменном токе.

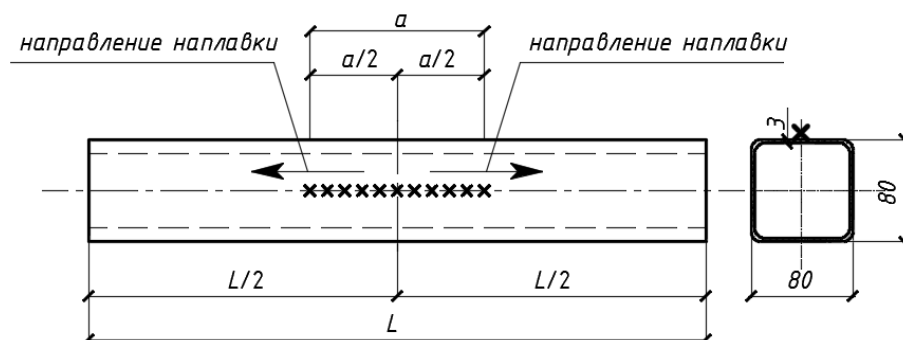


Рисунок 5 Схема расположения и направления наплавки холостых валиков стальных конструкций из труб квадратного сечения

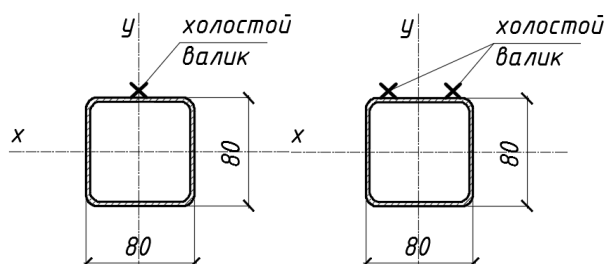


Рисунок 6 Схемы наплавки одного и двух холостых валиков по одной из главных осей стальных конструкций из труб квадратного сечения

В ходе расчётов уточняем длину участков, на которые наплавляется холостой валик, исходя из условия допустимого прогиба.

Данная методика была использована для правки элементов из труб квадратного сечения различной гибкости, которые имели остаточный прогиб после проведения испытания на устойчивость.

Для этого уточнялась стрела остаточного прогиба каждого образца: по длине образца были размечены точки с интервалом 10 см, и в каждой точке при помощи прогибомера определялась величина остаточного прогиба.

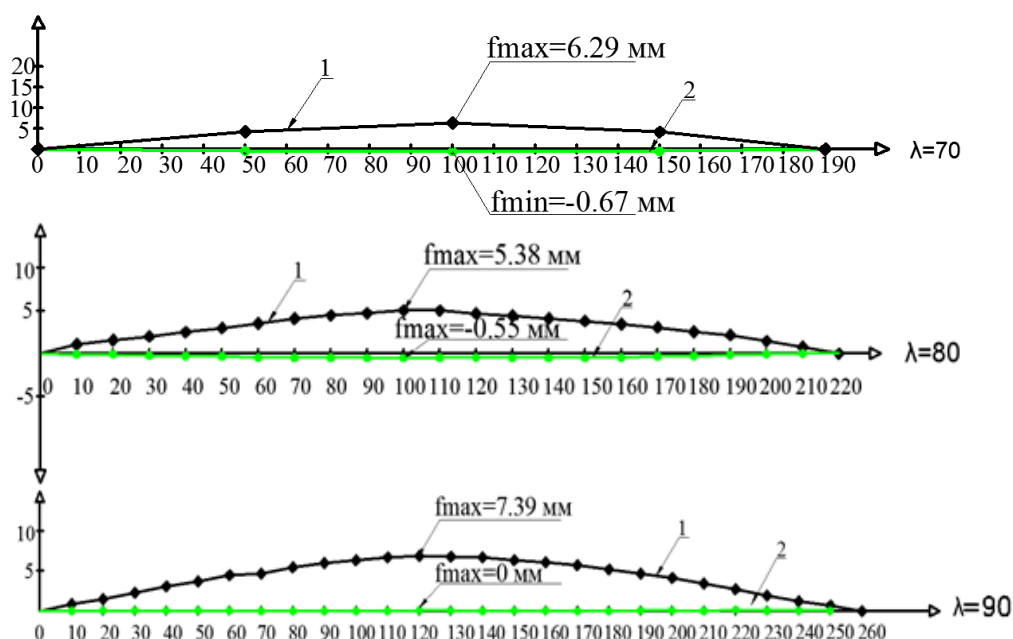
Результаты измерений образцов 1ГК8-2.2 ($\lambda = 70$), 2ГК8-2.5 ($\lambda = 80$), 3ГК8-2.8 ($\lambda = 90$) приведены на рисунке 7. На основе предложенной методики и справочных данных [8] было определено количество теплоты, необходимое для осуществления предварительного напряжения элементов из труб квадратного сечения.

Таким образом, были установлены параметры сварки, необходимые для правки элементов из труб квадратного сечения с

остаточным прогибом. Были приняты электроды типа АНО-21, диаметр которых 3 мм, максимальная сила тока и напряжение достигали 140 А и 30 В соответственно, катет шва — 5 мм, высота шва — 3 мм, общая длина шва — 80 см.

Результаты испытания образцов в состоянии поставки и после правки предварительно испытанных образцов приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов экспериментального определения устойчивости сжатых элементов из труб квадратного сечения показывает, что образцы, предварительно испытанные и подвергнутые правке методом локального термического воздействия путём наплавки холостого валика сварного шва, имеют большее значение критической силы. В ходе экспериментальных исследований установлено, что для образцов с гибкостью $\lambda = 70$ величина критической силы повысилась на 13 %, для образцов с гибкостью $\lambda = 80$ и $\lambda = 90$ — на 35 % и 22 % соответственно.



1 — остаточный прогиб после испытания на устойчивость; 2 — остаточный прогиб после правки сваркой

Рисунок 7 График распределения остаточного прогиба ($f_{ост}$) по длине образцов 1ГК8-2.2 ($\lambda = 70$), 2ГК8-2.5 ($\lambda = 80$), 3ГК8-2.8 ($\lambda = 90$)

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 1

Результаты экспериментальных стоек из труб квадратного сечения в состоянии поставки и после правки

Гибкость, λ	Образец	Экспериментальное значение критической силы, кН	Расчётное значение критической силы при $\sigma_T = 350$ МПа
70	7 ГК8-2.2 в состоянии поставки	192	228
	7 ГК8-2.2 после правки	220	
80	5 ГК8-2.5 в состоянии поставки	160	197,6
	5 ГК8-2.5 после правки	170	
90	9 ГК8-2.8 в состоянии поставки	150	168,5
	9 ГК8-2.8 после правки	170	

Выводы:

1. Остаточный выгиб может возникнуть в сжатых элементах стальных конструкций после разгрузки вследствие перехода материала в пластическое состояние. Это может быть возможным при перегрузке элемента, изменении условий приложения нагрузки, уменьшении площади поперечного сечения вследствие коррозии и т. п.

2. Предложена методика расчёта параметров правки стальных элементов путём наплавки холостых валиков по выпуклым граням.

3. Данная методика позволяет производить регулирование остаточного напряжённого состояния элементов из труб квадратного сечения как на стадии проек-

тирования для создания предварительного напряжения элементов в состоянии поставки, так и для правки элементов, имеющих остаточные прогибы при их усилении.

4. Полученные результаты экспериментального определения несущей способности показывают, что все образцы после правки имели величину критической силы большую, чем у образцов в исходном состоянии.

5. Направление дальнейших исследований состоит в совершенствовании методики расчёта сжатых элементов из труб квадратного сечения с учётом влияния остаточного напряжённого состояния на их устойчивость.

Библиографический список

1. Ребров, И. С. Усиление стержневых металлических конструкций : проектирование и расчёт [Текст] / И. С. Ребров. — Л. : Стройиздат, Ленингр. отделение, 1988. — 288 с.
2. Голоднов, А. И. Прогнозируемое выранвивание стальных конструкций сваркой [Текст] / А. И. Голоднов, В. В. Псюк, Б. В. Иванов. — Макеевка : Металлические конструкции, 2013. — № 2. — Том 19. — С. 103–110.
3. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель та споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення, монтажу [Текст]. — К. : Мінрегіонбуд України, 2010. — 202 с.
4. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. — К. : Мінбуд України, 2006. — 359 с.

5. Николаев, Г. А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. — М. : Высш. школа, 1982. — 272 с.

6. Голоднов, А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках [Текст] / А. И. Голоднов. — К. : Сталь, 2008. — 150 с.

7. Голоднов, К. А. Деформируемость сталежелезобетонных балок при различных нагрузках [Текст] / К. А. Голоднов // Дороги і мости : зб. наук. праць. — К. : ДДНДІ ім. М. П. Шульгіна, 2007. — Вип. 7. — Том I. — С. 104–110.

8. Голоднов, К. А. Жёсткость сталежелезобетонных изгибаемых элементов реконструируемых зданий и сооружений [Текст] / К. А. Голоднов // Вісн. Донбас. держ. академії будівництва і архітектури. — Макіївка : ДонДАБА, 2005. — Вип. 8 (56). — С. 65–69.

9. Малышев, Б. Д. Сварка и резка в промышленном строительстве [Текст] / Б. Д. Малышев, А. И. Акулов, Е. К. Алексеев и др. — М. : Стройиздат, 1989. — 590 с. : ил.

© Псюк В. В.

© Никишина И. А.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ПГСиА
ИСАиЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я.,
к.т.н., доц., зав. каф. АПИГ ДонГТУ Бондарчуком В. В.*

Статья поступила в редакцию 25.11.19.

к.т.н. Псюк В. В., Нікішина І. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ПОСИЛЕННЯ І ПРАВКА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ТРУБ КВАДРАТНОГО ПЕРЕТИНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗВАРЮВАННЯ

У статті розглядається можливість посилення і правки елементів з труб квадратного перетину різної гнучкості, які мали залишковий прогин після проведення випробування на стійкість. Запропоновано методику розрахунку параметрів правки сталевих елементів шляхом наплавлення холостих валиків на розтягнутій стороні зразків. Зміна залишкового напруженого стану конструкцій після наплавлення зварних швів прогнозується розрахунковим шляхом і підтверджена результатами експериментальних досліджень.

Наведено результати експериментального визначення стійкості стиснутих елементів з труб квадратного перетину в стані поставки і після правки попередньо випробуваних зразків.

Ключові слова: посилення, правка, сталеві конструкції, залишкові напруги, стійкість, квадратний перетин, зварювання.

PhD in Engineering Psiuk V. V., Nikishina I. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

STRENGTHENING AND STRAIGHTENING OF STEEL STRUCTURES MADE OF SQUARE TUBES USING WELDING

The article considers the possibility of strengthening and straightening the square tube elements of different flexibility, which had a residual deflection after the stability test. The design procedure is given for parameters of straightening of steel elements by welding the blank rollers on the stretched side of patterns. The change in the residual stress state of structures after welding is predicted by calculation and confirmed by the results of experimental studies.

The results of experimental determining the stability of the compressed square tube elements in the state of delivery and after straightening of pre-tested patterns are presented.

Key words: strengthening, straightening, steel structures, residual stresses, stability, square section, welding.

УДК 691.5:666.943

к.т.н. Долголантев В. М.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ АЛЧЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

В статье приведены результаты прочностных испытаний образцов на основе растворов с использованием гранулированного доменного шлака Алчевского металлургического комбината (АМК). Установлены пределы прочности при изгибе и сжатии различных составов, отличающихся видом затворителя и вяжущего вещества. Полученные результаты свидетельствуют о практической возможности использования шлакощелочных вяжущих на основе гранулированных доменных шлаков АМК в строительной практике.

Ключевые слова: шлакощелочные вяжущие, щелочные цементы, доменные шлаки, прочность.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. О том, что металлургические шлаки (в первую очередь доменные) обладают вяжущими свойствами, известно достаточно давно. Существует целая группа шлаковых вяжущих, в которую входят:

- бесклинкерные шлаковые вяжущие;
- сульфатно-шлаковые цементы;
- известково-шлаковые вяжущие;
- шлаковые вяжущие для бетонов автоклавного твердения;
- шлакощелочные вяжущие (щелочные цементы).

Особый интерес представляет группа шлакощелочных вяжущих веществ. Известно, что основным признаком наличия гидравлических вяжущих свойств у минеральных веществ является их способность при контакте с водой создавать щелочную среду с достаточно высоким рН, обеспечивающим гидратацию вещества вяжущего. Поскольку едкие щёлочи являются сильными основаниями, на их основе, как и на основе гидроокисей щелочноземельных металлов, можно получить гидравлические вяжущие вещества.

В качестве щелочного компонента применяют каустическую и кальцинированную соду, поташ, растворимое стекло и др. Используют также попутные продукты промышленности: плав щелочей (содовое про-

изводство); содощелочной плав (производство капролактама); содопоташную смесь (производство глинозёма); цементную пыль и т. п. Оптимальное содержание щелочных соединений в вяжущем в пересчёте на Na_2O составляет 2–5 % массы шлака.

Для шлаков с модулем основности (M_o) больше единицы могут применяться все щелочные соединения или их смеси, дающие в воде щелочную реакцию, для шлаков с $M_o < 1$ — только едкие щёлочи и щелочные силикаты с модулем 0,5–2, несиликатные соли слабых кислот и их смеси могут быть использованы только в условиях тепловлажностной обработки. Наличие щелочей интенсифицирует разрушение и гидролитическое растворение шлакового стекла, образование щелочных гидроалюмосиликатов и создание среды, способствующей образованию и высокой устойчивости низкоосновных кальциевых гидросиликатов. Малая растворимость новообразований, стабильность структуры во времени являются решающими условиями долговечности шлакощелочного камня.

Классическими трудами в этом направлении считаются работы, выполненные Проблемной научно-исследовательской лабораторией грунтосиликатов Киевского инженерно-строительного института (ПНИЛГ КИСИ, основана в 1957 г.) под руководством В. Д. Глуховского [1, 2].

Экспериментальное внедрение шлакощелочных бетонов в строительство начато в 1958 г., а опытное производство — в 1964 г. На основе накопившегося опыта в 1986 году НИИЖБ Госстроя СССР были изданы «Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе» [3]. В них были приведены технические требования, предъявляемые к компонентам шлакощелочных бетонов (шлакам, щелочным соединениям и др.); изложены правила приготовления растворов щелочных компонентов и шлакощелочных бетонных смесей, особенности подбора состава шлакощелочных бетонов, назначения режимов их тепловлажностной обработки и ухода за конструкциями, а также правила техники безопасности и контроля за производством бетонных работ; рассмотрены примеры подбора и корректировки состава шлакощелочных бетонов; указаны области применения шлакощелочных бетонов в изделиях и конструкциях.

На основе ПНИЛГ КИСИ был организован Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В. Д. Глуховского Киевского национального университета строительства и архитектуры, которым был разработан государственный стандарт ДСТУ Б В.2.7-181:2009 «Будівельні матеріали. Цементи лужні. Технічні умови», введенный в действие с 1 августа 2009 года. В стандарте указаны сфера применения, классификация и обозначение, общие технические условия, а также другие сведения о щелочных цементах.

Несмотря на довольно длительную историю, проблема использования отходов промышленности и, в частности, доменных шлаков для производства вяжущих веществ не утратила актуальности и по сегодняшний день, особенно для регионов с развитой металлургической промышленностью. Достаточно подробный анализ перспективы применения шлаков в производстве строительных материалов на территории Луганской Народной Республики выполнен в работах Г. Я. Дрозда [4, 5]. В них отмечено, что имеющиеся в республике колос-

сальные запасы шлакового сырья и щелочных отходов химических производств позволяют создать собственную, альтернативную цементной промышленности, бесцементную шлакощелочную строительную индустрию, основанную исключительно на местных промышленных отходах. При этом применение промышленных отходов позволяет на 10...30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений достигает 35...50 % [4].

Постановка задачи. Задачей данной работы является исследование прочностных характеристик растворов на основе доменных шлаков Алчевского металлургического комбината (АМК).

Изложение материала и его результаты. Для определения прочностных характеристик исследуемого шлакощелочного вяжущего изготавливались образцы в форме балочек размером 160×40×40 мм, которые впоследствии испытывались по схеме трёхточечного изгиба. Образовавшиеся после испытания на изгиб половинки балочек испытывались на сжатие через специальные прокладки площадью 25 см². Количество образцов в каждой партии — 3.

Для изготовления балочек использовались растворы различных составов. Перемешивание раствора осуществлялось в стандартной лабораторной растворешалке. Растворная смесь нормальной густоты укладывалась в трёхсекционную форму, закреплённую на стандартной виброплощадке, с последующим уплотнением в течение 3 минут.

Определение прочности при изгибе и при сжатии проводилось для образцов нормального твердения в возрасте 28 суток и пропаренных.

Испытания на изгиб и сжатие, а также условия изготовления, хранения и пропаривания опытных образцов соответствовали ГОСТ 310.4–81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями № 1, 2)».

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

В качестве материалов для приготовления образцов использовались:

– портландцемент марки ПЦ П/А-III-500 по ДСТУ БВ.2.7-46-96;

– песок строительный полевошпатовый с модулем крупности 1,14 по ГОСТ 8736-2014;

– гранулированный доменный шлак АМК (молотый, с удельной поверхностью 4000 см²/г — в качестве вяжущего и просеянный через сита 0,14; 0,315; 0,63 мм — в качестве мелкого заполнителя);

– затворители: вода и щелочные компоненты.

По данным, полученным в центральной заводской лаборатории АМК (18.03.2012 г.), химический состав доменного шлака (в % по массе): SiO₂ — 39,41; CaO — 45,44; Al₂O₃ — 7,17; MgO — 5,14; MnO — 0,17; FeO — 0,34; TiO₂ — 0,42; Si — 0,52; Mn — 0,17; S — 0,051; Ti — 0,021.

Модуль основности шлака $M_o = 1,15$.

Величина удельной поверхности молотого шлака определялась при помощи прибора ПСХ-4 (Прибор системы Ходакова).

В качестве щелочных компонентов были применены водные растворы Na₂CO₃ в свежеприготовленном состоянии плотностью 1130 кг/м³ (состав 1); 1240 кг/м³ (состав 2) и отстоянном состоянии плотностью 1060 кг/м³ (состав 3), водный 20%-й раствор NaOH (состав 4). Плотность полученных растворов определялась с помощью набора ареометров (денсиметров) по ГОСТ 1300-74.

Был определен уровень pH растворов с помощью прибора pH-метр-150. По полученным результатам уровень pH растворов Na₂CO₃ составляет 10,60–10,95 в зависимости от плотности, а показатель pH раствора NaOH — 12,98.

Для испытаний были изготовлены образцы 18 различных составов (см. табл. 1).

Таблица 1

Составы растворов, использовавшихся для изготовления образцов

№	Состав раствора					
	Заполнитель	Масса, г	Вяжущее	Масса, г	Затворитель	Масса, г
1	песок	1500	цемент	500	вода	300
2	песок	1500	цемент	375	вода	300
			молотый гранулированный шлак (МГШ)	125		
3	песок	1500	цемент	250	вода	300
			МГШ	250		
4	песок	1500	цемент	125	вода	300
			МГШ	375		
5	песок	1500	МГШ	500	вода	300
6	песок	1500	цемент	500	состав 1	300
7	песок	1500	цемент	375	состав 1	300
			МГШ	125		
8	песок	1500	цемент	250	состав 1	300
			МГШ	250		
9	песок	1500	цемент	125	состав 1	300
			МГШ	375		
10	песок	1500	МГШ	500	состав 1	300
11	песок	1500	МГШ	500	состав 4	300
12	песок	1500	МГШ	500	состав 4	200
13	песок	1500	МГШ	500	состав 3	300
14	песок	1500	МГШ	500	состав 3	200

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Продолжение таблицы 1

№	Состав раствора					
	Заполнитель	Масса, г	Вязущее	Масса, г	Затворитель	Масса, г
15	просеянный гранулированный шлак (ПГШ)	1500	МГШ	500	вода	300
16	ПГШ	1500	МГШ	500	вода	200
17	ПГШ	1500	МГШ	500	состав 2	300
18	ПГШ	1500	цемент	125	состав 2	300
			МГШ	375		

Образцы каждого состава были изготовлены в количестве 6 штук, три из которых твердели в нормальных условиях (испытаны в возрасте 28 суток), а три образца подвергались пропариванию по режиму согласно ГОСТ 310.4–81. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Проведённые испытания показывают, что при использовании в качестве затворителя воды прочность образцов при сжатии

снижается по мере уменьшения доли цемента и увеличения доли молотого гранулированного шлака с 20,8 МПа до 6,0 МПа (для образцов нормального твердения) и с 26,8 МПа до 5,2 МПа (для пропаренных образцов). При этом увеличение доли шлака в вязущем с 25 % до 50 % для пропаренных образцов не приводило к существенному падению прочности (образцы 2 и 3).

Таблица 2

Пределы прочности при изгибе и при сжатии испытанных образцов

№	Среднее значение предела прочности при изгибе, МПа		Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	
	образцов нормального твердения	пропаренных образцов	образцов нормального твердения	пропаренных образцов
1	5,4	4,0	20,8	26,8
2	3,9	3,3	14,8	16,8
3	3,3	2,95	10,8	16,0
4	3,9	3,25	9,6	8,0
5	2,5	2,8	6,0	5,2
6	1,0	0,85	4,8	4,0
7	1,7	1,3	8,4	9,6
8	3,6	3,6	14	11,2
9	2,3	2,8	3,2	3,6
10	2,7	4,65	11,6	21,2
11	4,3	3,0	11,6	7,2
12	3,2	4,65	8,0	10,8
13	1,9	1,8	12,6	18,4
14	0,6	-	1,6	1,9
15	-	1,2	-	4,4
16	-	1,7	-	1,6
17	3,3	6,2	5,0	21,2
18	6,2	6,1	16,6	18,8

При использовании в качестве вяжущего исключительно МГШ, а в качестве затворителя — растворы различного состава (образцы 5, 10, 11, 13) наилучшие результаты показали водные растворы Na_2CO_3 различной плотности и гораздо худшие — водный 20%-й раствор NaOH .

Замена песка на просеянный гранулированный доменный шлак к существенному изменению прочности для пропаренных образцов не привела. Образцы 10 и 17 показали одинаковый предел прочности при сжатии (21,2 МПа) и близкие при изгибе — 4,65 МПа и 6,20 МПа соответственно.

Ожидаемо низкую прочность показали балочки на МГШ и воде (образцы 15, 16). При этом образцы нормального твердения практически рассыпались при минимальном усилии, пропаренные образцы оказались заметно прочнее, но результаты были невысоки.

Следует отметить, что на прочностные характеристики оказывало влияние количество затворителя в смеси. Так, при снижении количества затворителя с 300 мл до 200 мл смесь становилась сухой и неудобноукладываемой, что сказалось на результатах (образцы 14, 16).

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведённые испытания дополняют имеющиеся сведения о прочности растворов на основе гранулированных доменных шлаков.

Перспективными представляются составы нормальной пластичности на основе молотого гранулированного доменного шлака и водных растворов Na_2CO_3 плотностью 1100–1200 кг/м³.

Представляют интерес исследования, направленные на изучение возможности применения попутных продуктов промышленности Донбасса в качестве щелочного компонента, а также составов с применением дисперсных горных пород — глины, известняка, кремнистых пород, многие из которых активизируются щелочными активизаторами шлака.

При затворении водой удовлетворительные результаты показывают составные смеси из портландцемента и молотого гранулированного доменного шлака.

Снижение соотношения затворитель/вяжущее без потери удобоукладываемости смеси с возможным повышением прочности может быть достигнуто путём применения пластификаторов, что требует дополнительной проверки.

Поиск оптимальных составов растворов с использованием доменных шлаков Алчевского металлургического комбината (в том числе отвальных), а также исследование их морозостойкости могут стать направлением дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Глуховский, В. Д. Шлакощелочные цементы и бетоны [Текст] / В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. — К. : Будівельник, 1978. — 184 с.
2. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих [Текст] / В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, Г. В. Румына, В. Л. Герасимчук. — К. : Будівельник, 1988. — 144 с.
3. Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе [Текст]. — М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1986. — 55 с.
4. Дрозд, Г. Я. Потенциал развития сектора обращения с отходами на Луганищине [Текст] / Г. Я. Дрозд // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — Вып. 10 (53). — С. 83–98.
5. Дрозд, Г. Я. Шлакощелочная строительная индустрия — возможная перспектива для Луганищины [Текст] / Г. Я. Дрозд // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017. — Вып. 6 (49). — С. 83–89.

© Долголаптев В. М.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ПГСиА
ИСА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я.,
к.т.н., доц., зав. каф. СК ДонГТУ Псюком В. В.*

Статья поступила в редакцию 20.11.19.

к.т.н. Долголаптев В. М. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ
АЛЧЕВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ**

У статті наведено результати випробувань міцності зразків на основі розчинів з використанням гранульованого доменного шлаку Алчевського металургійного комбінату (АМК). Встановлено межі міцності при вигинанні і стисненні різних складів, що відрізняються видом затворювача і в'язучої речовини. Отримані результати свідчать про практичну можливість використання шлаколуужних в'язучих на основі гранульованих доменних шлаків АМК в будівельній практиці.

Ключові слова: *шлаколуужні в'язучі, луужні цементи, доменні шлаки, міцність.*

PhD in Engineering Dolgolaptev V. M. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**STRENGTH CHARACTERISTICS OF SOLUTIONS BASED ON BLAST FURNACE SLAG
OF ALCHEVSK IRON-AND-STEEL WORKS**

The article presents the results of strength tests of samples based on solutions using granulated blast furnace slag of Alchevsk Iron-and Steel Works (AISW). There have been determined the limits of bending strength and compression of various compositions differing in the form of grouting fluid and binder. The obtained results point to the practical possibility of using the slag-alkaline binders based on granulated blast furnace slag of AISW in construction practice.

Key words: *slag-alkaline binders, alkaline cements, blast furnace slag, strength.*

**МАШИНОСТРОЕНИЕ
И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**МАШИНОБУДУВАННЯ
ТА МАШИНОЗНАВСТВО**

**MECHANICAL ENGINEERING
AND MACHINE SCIENCE**

УДК 621.961.2

д.т.н. Еронько С. П.,
к.т.н. Ткачев М. Ю.,
Ковалева О. А.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ ДЛЯ РЕЗКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ

Освещены конструктивные особенности и представлены результаты экспериментальной проверки работоспособности усовершенствованных гидравлических ножниц, предназначенных для качественной резки тонкостенных труб на мерные длины в потоке сварочного стана.

Ключевые слова: тонкостенный полый профиль, трубосварочный стан, летучие ножницы, качество торцевых поверхностей.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В настоящее время разделение на мерные длины тонкостенных труб в потоке сварочного стана осуществляют с помощью летучих дисковых пил или установок абразивной резки, обеспечивающих приемлемое качество торцевых поверхностей выпускаемых полых профилей. Вместе с этим быстрый износ рабочего инструмента при таких способах резки и сопровождающие их значительный шумовой эффект и образование большого количества раскалённых металлических и пылевидных частиц мотивируют продолжить исследования с целью разработки режущих систем, лишённых отмеченных недостатков [1].

Информация, полученная в ходе выполненного анализа научно-практических результатов в данной области [2–6], свидетельствует о перспективности использования на трубосварочных станах летучих ножниц, реализующих 2-стадийный процесс резки тонкостенных полых профилей. Суть его состоит в том, что вначале осуществляют предварительное ослабление поперечного сечения трубы путём её надреза горизонтально движущимся ножом, а затем в месте образовавшейся лыски оказывают силовое воздействие клиновым ножом, опускающимся сверху и разделяющим полый тонкостенный профиль на части. При указанной схеме резки удаётся избежать смятия торце-

вых поверхностей трубного профиля и улучшить его товарный вид [7, 8].

Постановка задачи. Целью данной работы является создание конструкции гидравлических летучих ножниц, обеспечивающих качественную резку на мерные длины тонкостенных труб в потоке сварочного стана за счёт реализации процесса двухстадийного разделения полого профиля, при котором исключается смятие его торцевых поверхностей.

Изложение материала и его результаты. Сотрудниками кафедры «Механическое оборудование заводов чёрной металлургии» им. профессора В. Я. Седуша Донецкого национального технического университета на основании результатов комплексных исследований, связанных с разработкой перспективных образцов малогабаритных устройств качественной резки тонкостенных труб [9, 10], предложена новая конструкция гидравлических летучих ножниц, предназначенных для применения в потоке трубосварочного стана для разделения на мерные длины готового полого профиля. На рисунке 1 приведена конструктивная схема разработанных ножниц. Они содержат ножевой режущий блок 4, размещённый на двух горизонтальных цилиндрических направляющих 5 с возможностью относительного возвратно-поступательного перемещения с помощью приводного гидrocилиндра 2, шток которого посредством

пальца 3 связан с корпусом режущего блока, а корпус в средней своей части шарнирно закреплён на основании 1. Режущий блок ножниц в соответствии с компоновочной схемой, показанной на рисунке 2, включает коробчатой формы корпус, состоящий из основания 17, двух пар продольных 11 и поперечных 3, 12 стенок, а также верхних брусьев 4, 10. Все элементы связаны между собой с помощью болтов.

На поперечных стенках посредством резьбовых соединений закреплены плунжерные гидроцилиндры 1, 13, расположенные горизонтально на одной оси. Плунжеры 2, 14 обоих цилиндров винтами соединены с горизонтальным П-образным суппортом 19, имеющим в верхней своей части две щелевые прорези, разделённые перемычкой, в пазу которой размещён подрезной нож 18.

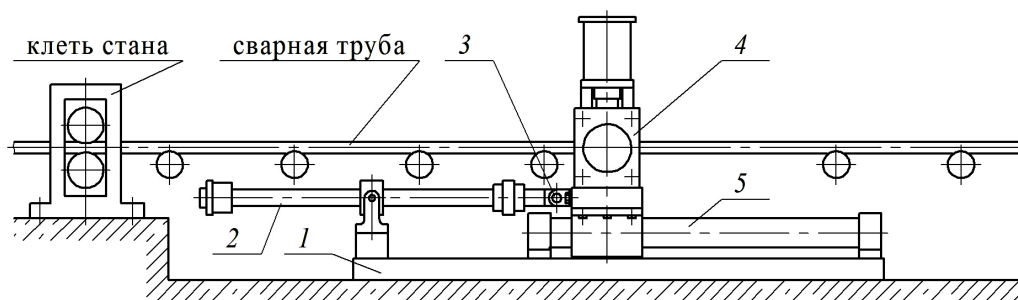


Рисунок 1 Структурная схема летучих ножниц трубосварочного стана

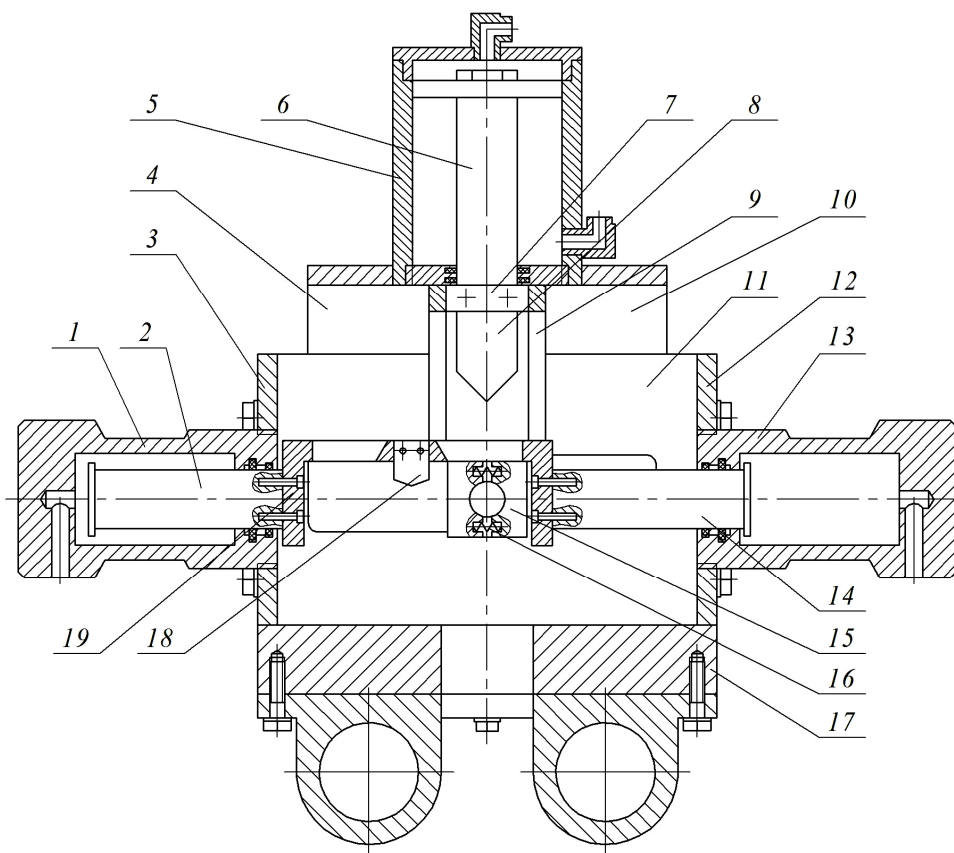


Рисунок 2 Конструктивная схема режущего блока летучих ножниц трубосварочного стана

На верхних брусках 4, 10 корпуса блока закреплён вертикально расположенный гидроцилиндр двухстороннего действия 5. Его шток 6 несёт суппорт 7, удерживающий клиновой нож 8 и снабжённый четырьмя вертикальными брусками 9 квадратного сечения. Нижние части брусков имеют клиновидную форму и контактируют скошенными поверхностями с тыльными сторонами двух пар калиброванных ножей-зажимов 15. Между ножами-зажимами каждой из пар поддерживается заданный зазор за счёт распирающего усилия, создаваемого двумя пружинами 16, находящимися в соосных цилиндрических углублениях. При этом обе пары ножей-зажимов образуют продольный зазор для беспрепятственного прохода между ними последовательно подрезного 18 и клинового 8 ножей.

Порядок функционирования летучих ножниц следующий. Перед началом реза во время движения трубы, находящейся между двумя парами разведённых ножей-зажимов, подвижные части режущего блока ножниц занимают положение, показанное на рисунке 2. Когда труба выйдет из режущего блока на расчётную длину, он с помощью приводного гидроцилиндра 2 (рис. 1) начинает движение вслед за нею по горизонтальным цилиндрическим направляющим. В момент выравнивания скоростей движения трубы и режущего блока в верхнюю полость его вертикального силового цилиндра 5 насосом маслостанции подаётся под давлением рабочая жидкость, в результате чего шток 6 начинает движение вниз вместе с суппортом 7, несущим клиновой нож 8 и четыре вертикальных бруса 9. Когда нижние клиновидные концы этих брусков, воздействуя на тыльные части ножей-зажимов 15 и преодолевая усилия их распорных пружин 16, зафиксируют в калибрах трубу, в полость левого плунжерного цилиндра 1 под давлением подаётся рабочая жидкость с расходом, обеспечивающим ускоренное перемещение плунжера 2 и горизонтального суппорта 19 из левого крайнего положения в правое с принудительным вталкиванием

плунжера второго цилиндра 14. При этом нож 18 осуществляет надрез трубы, ослабляющий её поперечное сечение в месте внедрения клинового ножа 8, который, опускаясь с некоторой задержкой по времени, проходит через левую прорезь горизонтального суппорта между двумя парами сомкнутых ножей и осуществляет полное отделение части полого профиля, после чего ускоренно возвращается в верхнее исходное положение вместе с суппортом 7 и вертикальными брусками 9, освобождаящими ножи-зажимы 15 для их размыкания распорными пружинами 16. Режущий блок сразу же с помощью приводного гидроцилиндра перемещается назад в исходную позицию. Последующий рез трубы будет происходить аналогичным образом с той лишь разницей, что для предварительного выполнения на поверхности полого профиля лыски в нужный момент времени должен включиться в работу правый плунжерный гидроцилиндр 13, ускоренно переводящий из правого в крайнее левое положение горизонтальный суппорт 19, несущий нож 18.

Проверку правильности технических решений, заложенных в конструкцию разработанных ножниц, и эффективности их функционирования провели на лабораторном комплексе, включавшем экспериментальный образец гидравлического режущего устройства (рис. 3) и систему централизованного управления синхронной работой его гидравлических цилиндров Ц1–Ц4, структурная схема которой показана на рисунке 4. В данной системе использован командоаппарат, включающий валы 3 и 5, установленные параллельно в подшипниковых опорах и связанные между собой посредством зубчатой пары 9 с передаточным числом, равным 2. Вращение обоих валов осуществляет мотор-редуктор (условно не показан), который позволяет обеспечить плавное изменение в нужных пределах их угловой скорости. Вал 3 несёт кулачки 2 и 10, с которыми находятся в контакте толкатели золотников 1 и 11, управляющих работой горизон-

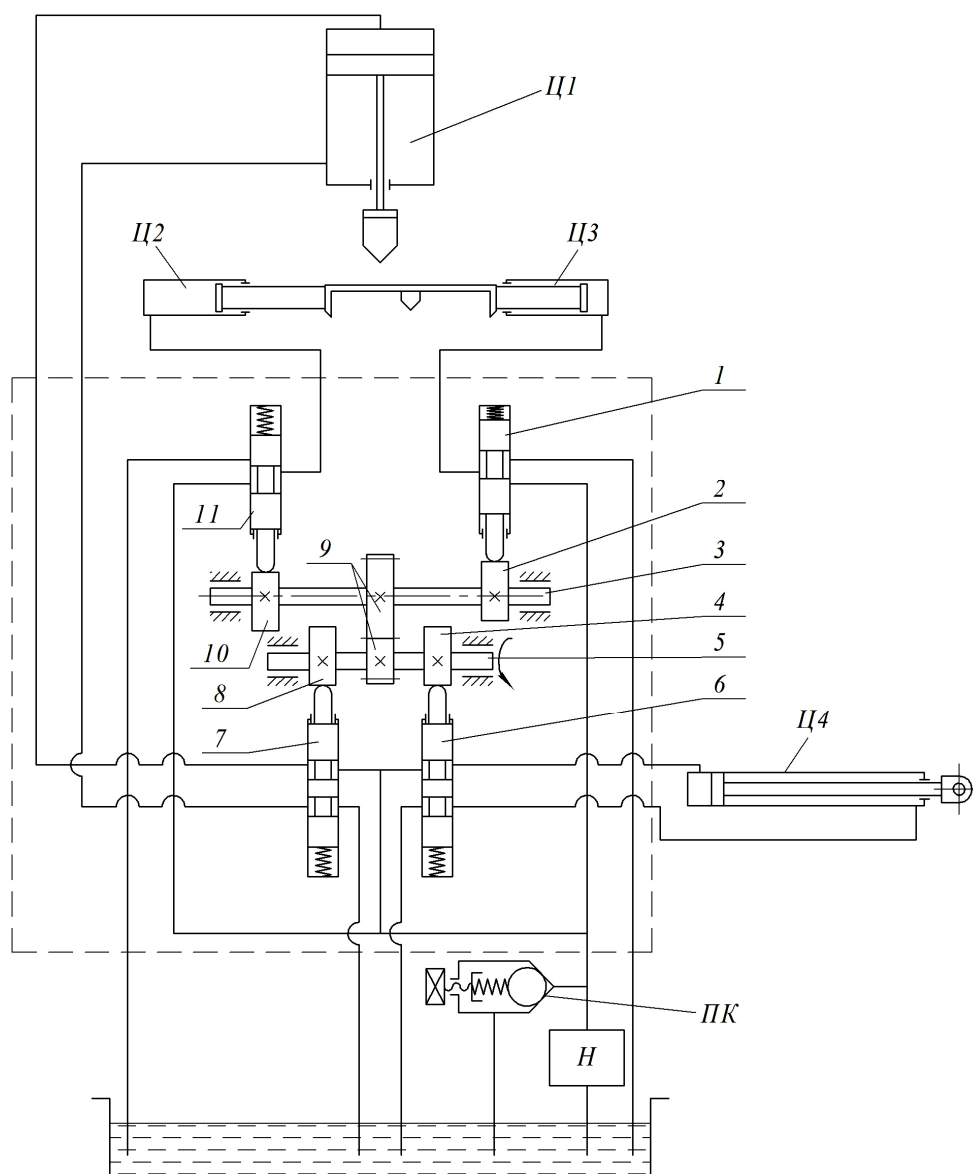
тальных плунжерных гидроцилиндров Ц2 и Ц3, перемещающих суппорт с подрезным ножом. На валу 5 размещены кулачки 4 и 8, контактирующие с толкателями золотников 6 и 7, регулирующих подачу рабочей жидкости соответственно в полости горизонтального Ц4 и вертикального Ц1 поршневых гидроцилиндров. Необходимые последовательность и продолжительность срабатывания всех золотников, включающих в работу соответствующие силовые гидроцилиндры летучих ножниц, задаются профилем кулачков и их относительным разворотом между собой.

Перед началом проведения эксперимента, используя предварительно рассчитанную и построенную циклограмму (рис. 5), определили требуемые профили кулачков командоаппарата (рис. 6) и после их изготовления осуществили настройку функционирования структурных элементов ла-

бораторного комплекса. Она включала согласование относительных скоростей движения трубы, подлежащей разделению на мерные длины, и режущего блока, выполняющего эту операцию, а также фиксацию кулачков командоаппарата в нужном относительном положении на несущих их валах и последующий подбор частот вращения, обеспечивающих требуемую длительность двухстадийного процесса поперечной резки трубного профиля. При этом скорость перемещения трубы задавали частотой вращения роликов устройства, имитирующего работу последней клетки трубосварочного стана, а скорость возвратно-поступательного движения режущего блока ножниц регулировали путём изменения объёмного расхода жидкости, поочередно подаваемой насосом в рабочие полости горизонтально установленного приводного гидроцилиндра Ц4.



Рисунок 3 Экспериментальный образец летучих ножниц для резки тонкостенных труб



Ц1 — вертикальный поршневой гидроцилиндр; Ц2, Ц3 — плунжерные гидроцилиндры;
Ц4 — горизонтальный поршневой гидроцилиндр; Н — насос; ПК — предохранительный клапан

Рисунок 4 Структурная схема системы управления работой гидроцилиндров летучих ножниц

Технические параметры маслососа (обеспечиваемые им давление и объёмная подача рабочей жидкости) назначали с учётом силовых и скоростных характеристик гидроцилиндров, приводящих в действие структурные механизмы опытного образца исследуемых летучих ножниц. На основании ранее полученных расчётных данных (табл. 1) о технологических нагрузках, возникающих при надрезе и полном разделении на мерные длины тонко-

стенных труб с различной комбинацией наружного и внутреннего диаметров [8], и скорости выполнения указанных операций установили, что при проведении лабораторного эксперимента исследуемые летучие ножницы необходимо снабдить маслососом, развивающим давление 1 МПа и объёмную подачу 11 л/мин. Указанным условиям отвечал шестерённый насос Г11-1 (Ш), использовавшийся в качестве привода ножниц.

Гидроцилиндр летучих ножниц	Направление движения штока (плунжера)
Вертикальный поршневой	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> Вниз Вверх </div>
Плунжерный левый	<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> Вправо </div>
Плунжерный правый	<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> Вправо </div>
Горизонтальный поршневой	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> Вперед Назад </div>
Продолжительность работы, с	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex-grow: 1; border-bottom: 1px solid black; position: relative;"> <div style="position: absolute; left: 0; top: -5px;">0</div> <div style="position: absolute; left: 25%; top: -5px;">1</div> <div style="position: absolute; left: 50%; top: -5px;">2</div> <div style="position: absolute; left: 75%; top: -5px;">3</div> <div style="position: absolute; left: 90%; top: -5px;">4</div> <div style="position: absolute; left: 100%; top: -5px;">5</div> </div> </div>

Рисунок 5 Циклограмма работы гидроцилиндров при выполнении реза трубы летучими ножницами

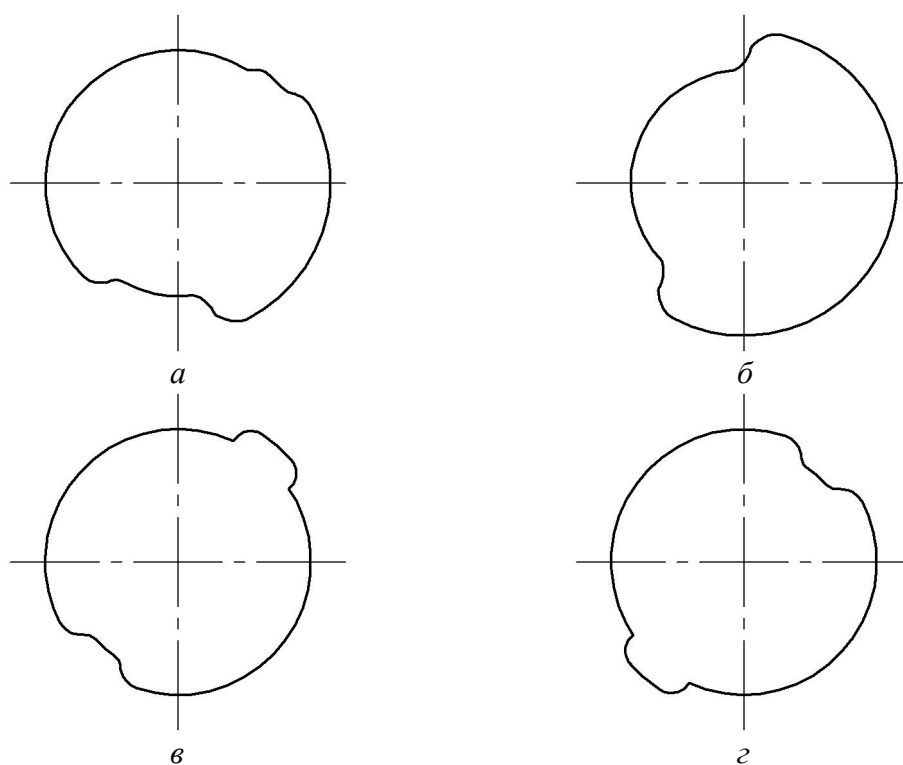


Рисунок 6 Профили кулачков, управляющих работой золотников для регулирования подачи жидкости в полости вертикального (а), горизонтального (б) и плунжерных (в, г) гидроцилиндров

С целью уменьшения площади, занимаемой лабораторным комплексом, и снижения материальных затрат при проведении контрольных испытаний разработанных летучих ножниц резку тонкостенной трубы осуществляли на минимально возможные мерные длины, соответствующие скорости движения

полого профиля (данные табл. 2). Поскольку длина трубных профилей, используемых в эксперименте, составляла 1 м, при их порезке на мерные длины в зависимости от скорости движения из исходного образца трубы получали от 4 до 8 элементов, имеющих соответствующий линейный размер (рис. 7).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Таблица 1

Расчётные значения параметров гидравлического привода режущего механизма ножниц

Размеры трубы, мм		Максимальная сила реза P , Н	Скорость движения ножа, м/с	Параметры привода		
D	d			Диаметр поршня цилиндра, мм	Рабочее давление насоса, МПа	Объёмная подача насоса, л/мин
10	9	4300	0,1	75	1,0	11
	8	8300		100		19
	6	11200		120		27
20	18	7200		65	2,0	8
	16	12000		90		15
	14	15000		100		19
30	28	9800		70	2,5	9
	26	14000		85		14
	24	17000		90		15

Таблица 2

Кинематические параметры разработанных летучих ножниц при проведении контрольных испытаний

Скорость движения трубы, м/с	Время движения режущего блока в исходную позицию после выполнения реза трубы, с	Требуемое время для выравнивания скоростей трубы и режущего блока при движении в попутном направлении, с	Мерная длина куска трубы, м
0,05	2	0,2	0,11
0,075	2	0,3	0,18
0,1	2	0,5	0,25



Рисунок 7 Тонкостенные трубы после разделения на части по двухстадийной схеме резки на гидравлических летучих ножницах

Наряду с этим в ходе экспериментов был выявлен недостаток у применявшегося блока управления, связанный с износом рабочих поверхностей его кулачков и необходимостью тщательной настройки их относительного положения, поскольку даже при незначительном угловом отклонении хотя бы одного из них происходил сбой в работе режущего блока. Результаты лабораторных испытаний разработанных летучих ножниц будут учтены при проектировании их промышленного образца.

Выводы и направление дальнейших исследований. Результаты лабораторных экспериментов подтвердили работоспо-

собность основных структурных элементов предложенной системы летучих ножниц для качественной резки тонкостенных труб в потоке сварочного стана. Дальнейшие её исследования будут связаны с повышением надёжности блока управления последовательностью работы силовых гидроцилиндров за счёт использования схемы с электромеханическим управлением «по пути», обеспечивающим подачу сигналов о выполнении предшествующей команды при отработке заданной последовательности перемещений горизонтально движущегося подрезного ножа и вертикально опускающегося клинового ножа.

Библиографический список

1. Кравченко, В. М. Повышение стойкости дисков летучей пилы для порезки тонкостенных труб [Текст] / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин // *Защита металлургических машин от поломок : сборник научных трудов*. — Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ». — 2010. — Вып. 12. — С. 222–225.
2. Стеблюк, В. И. Методы усовершенствования способов резки труб на короткие заготовки [Текст] / В. И. Стеблюк // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. — Краматорск : Донбасская государственная машиностроительная академия. — 2009. — № 1. — С. 287–290.
3. Стеблюк, В. И. Последовательность резки тонкостенной трубчатой заготовки сдвигом вращающихся оправок [Текст] / В. И. Стеблюк, Д. Н. Савченко, Д. Б. Шкарлута // *Вестник Национального технического университета Украины «Харьковский политехнический институт»*. — Харьков : ХТУ «ХПИ». — 2010. — № 43. — С. 141–146.
4. Экспериментальные исследования усовершенствованного метода резки трубчатых заготовок одновременным сдвигом и кручением [Текст] / В. И. Стеблюк [и др.] // *Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии*. — Краматорск : ДГМА. — 2010. — № 1 (22). — С. 179–182.
5. Карнаух, С. Г. Разработка оборудования для разделения сортового проката (труб) на мерные заготовки с применением нитинола [Текст] / С. Г. Карнаух, Д. С. Карнаух, Н. В. Чоста // *Сборник научных трудов Донбасской государственной машиностроительной академии*. — Краматорск : ДГМА, 2015. — № 2. — С. 323–326.
6. Титов, В. А. Особенности расчёта параметров процесса резки тонкостенных труб на детали и полуфабрикаты [Текст] / В. А. Титов, Д. М. Савченко, А. И. Петришин // *World science*. — 2018. — № 3 (31). — С. 35–41.
7. Теоретические и экспериментальные исследования силовых параметров процесса резки тонкостенных труб клиновыми ножами [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // *Вестник Донецкого национального технического университета*. — 2016. — № 5. — С. 15–21.
8. Исследование энергосиловых параметров ножниц для качественной резки тонкостенных труб [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — Вып. 11 (54). — С. 110–118.
9. Малогабаритные ножницы для качественной резки тонкостенных труб [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // *Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и*

производство : матер. 15-й всероссийской науч.-практ. конф. с межд. участием. — Старый Оскол : Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова. — 2018. — С. 48–53.

10. Разработка режущего блока летучих ножниц трубосварочного стана [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса : сборник трудов 5-й межд. науч.-практ. конф. В 6-ти т. Т. 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — Донецк : ДонНТУ, 2019. — С. 22–27.

© Еронько С. П.

© Ткачѐв М. Ю.

© Ковалѐва О. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым А. Ю., д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ им. В. Я. Седуша ДонНТУ Сидоровым В. А.

Статья поступила в редакцию 18.11.19.

д.т.н. Еронько С. П., к.т.н. Ткачов М. Ю., Ковальова О. О. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

РОЗРОБКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ЛЕТУЧИХ НОЖИЦЬ ДЛЯ РІЗАННЯ ТОНКОСТІННИХ ТРУБ

Наведено результати розробки гідравлічних ножниць для двохстадійного різання тонкостінних труб в потоці зварювального стану і системи управління їх роботою, яка оснащена командоапаратом. Пристрій ножниць дозволяє проводити різ труби без зминання торцевих поверхонь за рахунок попереднього ослаблення її перерізу на першому етапі операції.

Ключові слова: тонкостінний порожнистий профіль, трубозварювальний стан, летучі ножниці, якість торцевих поверхонь.

Doctor of Technical Sciences Eron'ko S. P., PhD in Engineering Tkachov M. Yu., Kovaleva O. A. (DonNTU, Donetsk, DPR)

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF HYDRAULIC FLYING SHEARS FOR CUTTING THIN-WALLED PIPES

There have been given the results of the development of hydraulic shears for two-stage cutting of thin-walled pipes in the flow of a welding mill and a control system for their operation equipped with a command apparatus. The shears allows you to cut the pipe without crumbling the end surfaces due to the preliminary weakening of its cross section at the first stage of the operation.

Key words: thin-walled hollow section, pipe-welder, flying shears, quality of end surfaces.

УДК 669.04

к.ф.-м.н. Харитonenко А. А.,
к.т.н. Жильцов А. П.
(ЛГТУ, г. Липецк, Россия)

АНАЛИЗ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрены системы технического обслуживания и ремонтов оборудования и пути их усовершенствования, проведён анализ стандартных методов и приёмов по определению коренных причин на примере виртуального аварийного отказа оборудования, разработан и предложен соответствующий бланк для электронного документооборота.

Ключевые слова: металлургическое оборудование, техническое обслуживание, ремонты, отказ, фактическое состояние.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Система технического обслуживания и ремонтов в металлургическом производстве предусматривает в современных условиях следующие основные виды:

- систему планово-предупредительных ремонтов (ППР);
- реагирующее (реактивное) обслуживание (РАО);
- систему обслуживания по фактическому состоянию (ОФС).

Целью эффективного технического обслуживания является максимально результативное его проведение с использованием плановых остановок оборудования, сводящих к минимуму коэффициенты простоев, связанных с техобслуживанием и ремонтами. Данная цель реализуется на абсолютном большинстве металлургических производств через систему планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Сущность этой системы состоит в том, что после отработки оборудованием определённого времени производятся профилактические осмотры и различные виды плановых ремонтов, периодичность и продолжительность которых зависят от конструктивных и ремонтных особенностей оборудования и условий его эксплуатации. Такая система очень удобна с точки зрения планирования на основе утверждённых

графиков ремонтов. Но объём выполненных работ не всегда целесообразен, поскольку он определяется на основе регламента и результатов осмотров оборудования. При такой системе ремонта не исключаются аварийные отказы и простои оборудования, которые являются наиболее дорогостоящими, а также отсутствует возможность оперативного управления ремонтами. Поэтому применение системы реагирующего обслуживания (РАО) после наступления аварийного отказа при базовой системе ППР является актуальным и необходимым.

При этом разумным решением снижения времени простоев и увеличения полезного времени работы оборудования является реформирование системы управления техническим обслуживанием и ремонтами (ТОиР). Известно, что наиболее экономически затратными являются потери от простоев, вызванных аварийной остановкой агрегата, поскольку в таком случае может нарушаться общий цикл функционирования цеха при отсутствии резервирования.

Постановка задачи. Главной целью реформирования системы ТОиР является снижение числа аварийных простоев оборудования при минимизации дополнительных затрат на его обслуживание [2, 3] путём достоверного определения коренных причин отказов.

Изложение материала и его результаты. Каждый отказ в работе оборудования (инцидент), приводящий к аварийной ситуации и простоям, имеет свою природу и связан с организационными, техническими и (или) личностными причинами (человеческий фактор). Поэтому нахождение коренной причины отказа на основе общих принципов (стандартов) является основным фактором для снижения аварийных простоев оборудования и предупреждения появления подобных отказов при дальнейшей эксплуатации.

Среди «стандартных» приёмов следует выделить метод «5W+1H» («5 почему»), основанный на методе Сократа [3, 4], метод К. Исикавы [5] и др. При возникновении аварийного отказа (инцидента) с использованием стандартных приёмов необходимо последовательно проработать следующий круг вопросов, представленный в виде схемы (рис. 1).

Для практического применения данной схемы (появление аварийного отказа) при реализации системы РАО рациональным может быть применение электронного документооборота, который позволяет в оперативном режиме отслеживать и фиксировать этапы: регистрации отказа (тип, время, характер), анализа, возможных первопричин и коренной причины, предпринятых мер. С этой целью разработан бланк в системе электронного документооборота, представленный на рисунке 2.

В данном документе фиксируется в зоне А время наступления отказа, поиска запчастей, проведения замены отказавшей детали (узла); в зоне В — описание, фото, эскиз поломки (отказа); в зоне С — первоначальный анализ «5W+1H»; в зоне D — описание действий для выявления первопричин; в зоне Е — выдвижение гипотез; в зоне F — выявление первопричин, коренной причины; в зоне G — перечень предпринятых мер.



Рисунок 1 Схема последовательности принятия решений

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Работник ремонтной службы		Подразделение		Участок		Машина		Дата	Код	
ЗАПИСЬ ВМЕШАТЕЛЬСТВА A					5W+1H АНАЛИЗ C					
Время начала поломки	Ожидание (мин)	Диагностика (мин)		ЧТО	Какой продукт производила машина?					
Поиск запчастей (мин)	Ремонт (мин)	Запуск (мин)		КОГДА	Когда возникла проблема?	При запуске	При выключении	Во время работы	При переналадке	
Вмешательство закончено	ТИП: Механ., Гидравл., Пневмат., Электрич., Электронн., Программн. обесп.			ГДЕ	В какой части машины возникает проблема?					
ОПИСАНИЕ ОТКАЗА ОБОРУДОВАНИЯ (текст, эскизы, фотографии) B					КТО	Оператор не имеет опыта работы на этой машине?				
					КАКОЙ	Проблема предшествовала какой-то симптом?	Нет	Да - какие?		
					КАК	Какие последствия для нормальной работы машины?				
					ОПИСАНИЕ ДЕЙСТВИЙ D					
5 "Почему" АНАЛИЗ E					ПЕРВОПРИЧИНЫ F					
	Гипотеза 1	Гипотеза 2	Гипотеза 3	Гипотеза 4	ОТСУТСТВИЕ БАЗОВЫХ УСЛОВИЙ	ОТСУТСТВИЕ НЕОБХОДИМЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	ОТСУТСТВИЕ ПРОФ. ТЕХН. ОБСЛУЖИВАНИЯ	НЕДОСТАТОК НАВЫКОВ	НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ	ВНЕШНЕЕ ВЛИЯНИЕ
1-е почему					Отсутствует	Стандарты отсутствуют	Отсутствует	Ошибка оператора	Отсутствие необходимых мероприятий	Влияние предыдущего оборудования (технологии)
2-е почему						Недостаток стандартов	Недостаточное	Ошибка ремонтной службы	Неверное описание	Непригодное сырье
3-е почему						Пренебрежение	Пренебрежение стандартами	Пренебрежение	Отсутствие	Сторонние организации
4-е почему					Коренная причина					
5-е почему										
ПРЕДПРИНЯТЫЕ МЕРЫ F										
Действия для устранения первопричины	ЧТО				КТО		КОГДА			

Рисунок 2 Бланк определения коренной причины аварийного отказа в системе электронного документооборота

Фрагмент практической возможной реализации схемы, представленной на рисунке 1, рассмотрен на примере виртуального отказа, заключающегося, например, в отслоении режущей кромки шевронного ножа летучих ножниц в технологической линии непрерывного широкополосного стана горячей прокатки.

Аварийный простой стана при этом происходит вследствие некачественного реза головной части полосы из-за отслоения режущей кромки шевронного ножа. В соответствии с методом «5W+1H» могут быть установлены основные составляющие возникшей проблемы:

1. Что за проблема?
Отслоение режущей кромки ножа, что привело к неработоспособному состоянию ножниц и остановке стана.
2. Когда обнаружена проблема?
Во время реза головной части раската.
3. Где обнаружена проблема?
На барабане летучих ножниц.
4. Кто вовлечён в проблему?
Технологический и ремонтный персонал.
5. Какой тренд имеет проблема?
Некачественный рез головной части полосы может привести к расслоению материала и застреванию в валках прокатной клетки.

6. Как возникла проблема?

Для решения данного ключевого вопроса, который позволяет выявить коренные причины, необходимо произвести анализ факторов, влияющих на возникновение простоя. Данный анализ эффективен путём использования, например, метода К. Исикавы [5], который предусматривает на каждом последующем шаге углубление в проблематику по уточнению степени влияния фактора. Так, применительно к рассматриваемому виртуальному примеру, анализ приведён на рисунке 3, что позволяет выяснить влияние на внеплановый простой ряда факторов (оборудования, эксплуатации, материалов, инструмента и приспособлений, персонала (человеческий фактор)) и на основании данного анализа разработать систему мер по минимизации (недопущению) подобных отказов в даль-

нейшем и обеспечить показатель качества по снижению простоев агрегата.

В соответствии со схемой (см. рис. 3) факторы А оказывают существенное влияние на возникновение простоя, факторы В оказывают незначительное влияние, факторы С не оказывают влияния.

В результате анализа факторов (см. рис. 3), например, возможно принятие следующих организационных, нормативно-методических и технических решений:

- усилить контроль за ведением технического обслуживания и ремонтных работ по выставке зазоров между ножами;
- обеспечить техническое решение по регулировке зазоров между ножами;
- внести изменения в технологическую карту ремонта суппортов летучих ножниц в части обеспечения гарантированного зазора между ножами.

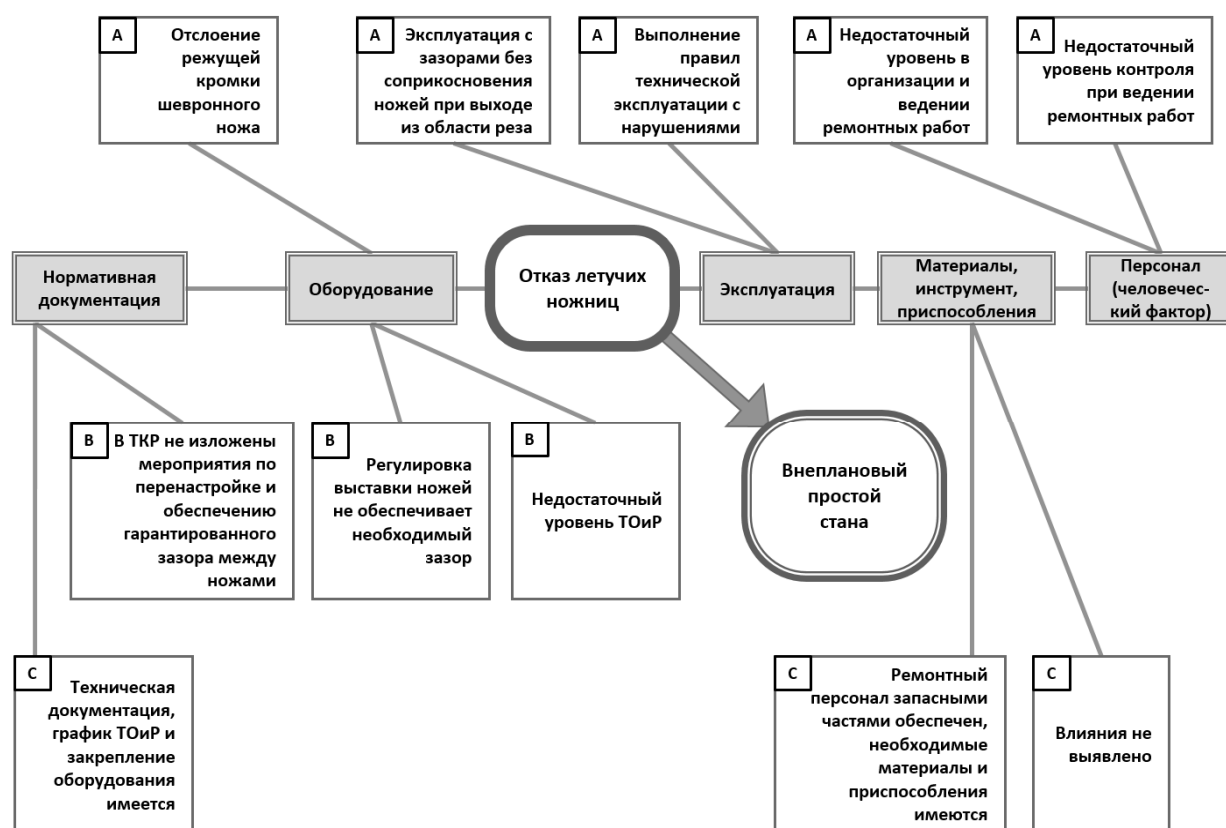


Рисунок 3 Анализ факторов, влияющих на появление простоя

Рассмотренный в примере анализ на основе стандартных методов и приёмов обеспечивает разработку системы мер по предупреждению аварийных отказов, но не даёт возможности получить обобщённые характеристики отказов, имеющих различную природу.

В отличие от систем ППР и РАО, рассмотренных выше, для осуществления ремонта по фактическому состоянию необходимо в режиме реального времени отслеживать текущее состояние механизмов и машин. Для этого необходимо совершенствование элементов системы управления техническим состоянием оборудо-

вания на основе оценок показателей надёжности с учётом накопления и анализа информации об отказах [6, 7].

В общем виде схема управления ремонтами по фактическому состоянию представлена на рисунке 4.

Система сбора информации осуществляется двумя способами: осмотром и диагностикой. Полученная информация о фактическом состоянии оборудования в системе накопления и управления информацией формирует базу данных технического состояния оборудования, где обрабатывается автоматически с помощью программного обеспечения специалистами службы надёжности.

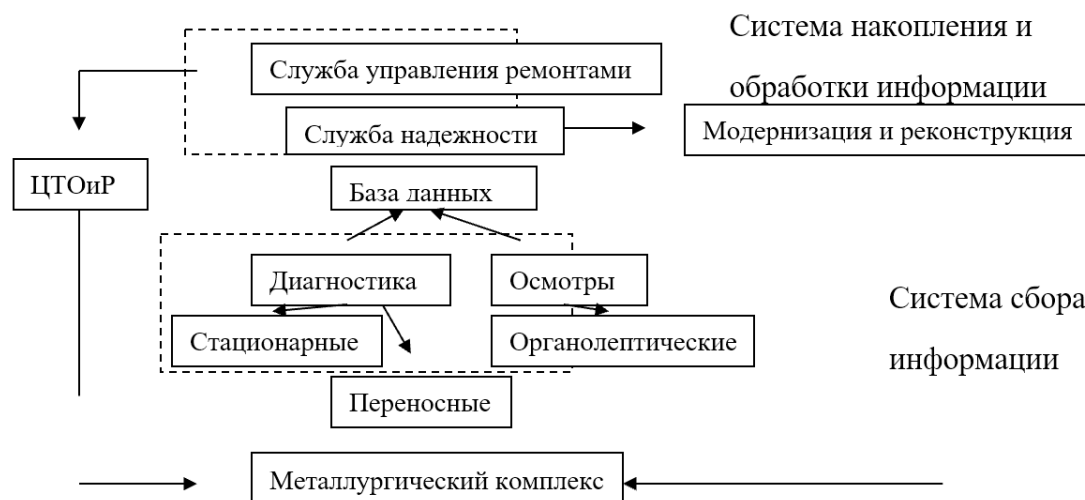


Рисунок 4 Схема управления ремонтами по фактическому техническому состоянию оборудования

Специалисты службы надёжности выполняют три основные функции:

1) определяют «слабые места» оборудования и формируют инженерные задания модернизации оборудования;

2) на основе систематизации собранной информации совместно с программистами разрабатывают вычислительные программы для расчёта остаточного ресурса каждого узла;

3) исходя из фактического технического состояния оборудования, дают рекомендации по изменению сроков проведения и объёмов ремонтных работ в службу управления ремонтами.

В службе управления ремонтами, учитывая рекомендации службы надёжности, корректируют сроки и объём ремонтных работ и отправляют заявку на их проведение в центр ТООиР.

Реализация подобного подхода позволяет максимально эффективно использовать имеющиеся на предприятии трудовые ресурсы, обеспечивать безотказную работу всего оборудования и сокращать расходы на ремонтные работы. Но при такой системе функционирования ремонтных служб возникает ряд проблем.

Основной проблемой при осуществлении ремонта по фактическому состоянию

является достоверное с заданной степенью вероятности определение остаточного ресурса для каждой детали.

Второй, но не менее важной, является проблема реорганизации сбора достоверных сведений о фактическом состоянии оборудования, а именно его полная автоматизация и централизация для удобного доступа к любой информации в режиме реального времени, что требует серьёзных финансовых вложений на развитие систем локальной и, прежде всего, комплексной диагностики.

Также возникает проблема организационного характера, связанная с заказом запасных частей и оперативным регулированием договорных обязательств с подрядными организациями и осуществлением объективной оценки качества проводимых работ. Для решения этой проблемы необходимо разработать систему стандартов экономических показателей оценки каче-

ства ТОиР, а также систему штрафов при их невыполнении.

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведён анализ методов технического обслуживания и ремонтов оборудования в металлургическом производстве. Обосновано применение современных стандартных процедур по выявлению коренных причин аварийных отказов оборудования при реализации системы реагирующего (реактивного) обслуживания. Разработан и предложен бланк процедуры выявления коренных причин аварийных отказов для использования в системе электронного документооборота при реализации РАО. Обоснована необходимость развития и внедрения системы оценки работоспособности оборудования по его фактическому состоянию на основе применения локальной и комплексной диагностики и достоверного определения остаточного ресурса.

Библиографический список

1. Ярцев, Н. А. Современные формы системы ТОиР при эксплуатации металлургического оборудования производства динамной стали [Текст] / Н. А. Ярцев, А. В. Бочаров // *Металлургия и химия. Тенденции развития современной науки : материалы научной конференции студентов и ассистентов Липецкого государственного технического университета*. — Издательство ЛГТУ, 2018. — С. 177–179.
2. Попов, А. В. Реорганизация ремонтной службы [Текст] / А. В. Попов // *Металлург*. — 2014. — № 9. — С. 22–24.
3. Шульц, О. Е. Практика сократовского диалога в дианализе [Текст] / О. Е. Шульц // *Психотерапия : научно-практический журнал*. — М., 2012. — № 12. — С. 99–100.
4. Лайкер, Дж. Дао Toyota : 14 принципов менеджмента ведущей компании мира [Текст] : пер. с англ. / Джеффри Лайкер. — [7-е изд.]. — М. : Альпина Паблицер, 2012. — 400 с.
5. Исикава, К. Японские методы управления качеством [Текст] : сокр. пер. с англ. / К. Исикава ; под. ред. А. В. Гличева. — М. : Экономика, 2009. — 214 с.
6. Жильцов, А. П. Разработка алгоритма и компьютерной программы для расчёта надёжности оборудования и производственного риска в металлургической отрасли [Текст] / А. П. Жильцов, Д. А. Вишневский, В. А. Козачишен, А. В. Бочаров // *Чёрные металлы*. — 2018. — № 11. — С. 27–33.
7. Чуклин, Д. Стратегии и системы обеспечения эксплуатационной надёжности оборудования металлургических заводов [Текст] / Д. Чуклин, С. Охлупин, А. Шаров и др. // *Регламент*. — 2015. — № 6 (44). — С. 148–150.

© Харитоненко А. А.

© Жильцов А. П.

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

Статья поступила в редакцию 20.11.19.

к.ф.-м.н. Харитоненко А. А., к.т.н. Жильцов О. П. (ЛДТУ, м. Луцек, Росія)

**АНАЛІЗ І ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА
РЕМОНТІВ ОБЛАДНАННЯ В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Розглянуто системи технічного обслуговування та ремонтів обладнання і шляхи їх вдосконалення, проведено аналіз стандартних методів та прийомів щодо визначення корінних причин на прикладі віртуальної аварійної відмови обладнання, розроблено та запропоновано відповідний бланк для електронного документообігу.

Ключові слова: металургійне обладнання, технічне обслуговування, ремонти, відмова, фактичний стан.

PhD in Physics and Mathematics Kharitonenko A. A., PhD in Engineering Zhiltsov A. P. (LSTU, Lipetsk, the Russian Federation)

**ANALYZING AND IMPROVEMENT OF METHODS OF MAINTENANCE AND REPAIR OF
EQUIPMENT IN METALLURGICAL PRODUCTION**

There have been examined the maintenance and repair of equipment and ways to improve them, the analysis of standard methods and techniques for determining the root causes for the virtual emergency equipment failure, developed and proposed the corresponding form for electronic document flow.

Key words: metallurgical equipment, maintenance, repairs, failure, actual condition.

УДК 621.967.3

к.т.н. Ульяницкий В. Н.,
к.т.н. Петров П. А.,
Орлов А. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НОЖНИЦ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И КАЧЕСТВО РЕЗА ПРОКАТА

Выполнен анализ результатов производственного и лабораторного исследования износостойкости режущего инструмента ножниц прокатных цехов при обработке обычных и высокопрочных марок сталей. Показан характер износа кромки ножа и его влияние на качественные показатели порезки. Определён наиболее достоверный для обслуживающего персонала показатель необходимости замены изношенных ножей.

Ключевые слова: материал ножей, свойства ножей, режущая кромка, стадии и характер износа, относительный износ, настройка ножниц.

В процессе порезки толстолистного проката режущий инструмент ножниц испытывает значительные статические, динамические и тепловые нагрузки. Тяжёлые условия эксплуатации предъявляют определённые требования к материалу ножей: высокая прочность и вязкость, сохраняющиеся при нагреве; ножи не должны изменять форму режущей части и разрушаться под действием значительных ударных воздействий и локальных нагревов, сохранять полученную твёрдость и высокое сопротивление изнашиванию; недопустим чрезмерный разогрев рабочей поверхности; должен быть обеспечен ускоренный отвод тепла, перетекающего к режущим элементам от горячего металла; высокое сопротивление термической усталости, обусловленное многократными краткосрочными нагревами и охлаждениями рабочей поверхности ножа [1].

Многолетний опыт эксплуатации ножниц прокатного производства свидетельствует о неизбежности потери режущим инструментом заложенных в нём материалом и технологией изготовления вышеперечисленных требуемых свойств [2].

Основными причинами прекращения эксплуатации ножей являются: износ (затупление) режущей кромки; смятие рабочих участков зачастую у нового ножа; образование трещин, приводящих в итоге к локальному

выкрошиванию материала ножа; налипание (наволакивание) разрезаемого металла на рабочие грани режущего инструмента.

Исследования свидетельствуют о приоритетности влияния на изменение силовых нагрузок и качество реза износных показателей режущей кромки ножа. Рассмотрим эти свойства на примере плоского ножа для порезки толстолистного проката. При изготовлении ножей плоской формы, в том числе и дисковых, выполняют прямоугольную заточку (шлифовку) рабочей поверхности (рис. 1, а).

Имеются рекомендации угол заострения выполнить не 90° , а меньше (89° – $88,5^\circ$), что, по мнению авторов [3], уменьшит трение ножа о поверхность металла и снизит износ кромки. Однако подобная конструкция ножа ускоряет процесс затупления кромки и требует дополнительной настройки ножниц (регулировки зазоров между ножами).

Новые ножи обеспечивают хорошее качество реза: поверхность раздела ровная, перпендикулярная плоскости листа, без рванин и заусенцев.

В процессе работы ножниц, вследствие изменения условий резки (смена сортамента листов, температурного их состояния), режущая кромка затупляется (изнашивается), образуя криволинейный контур режущей части радиусом r (рис. 1, б).

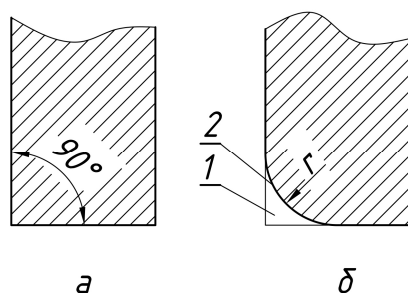


Рисунок 1 Профиль рабочей поверхности плоского ножа:

а — нового; б — изношенного

В результате износа режущих элементов верхнего и нижнего ножей происходит постепенное изменение диаметра исходной настройки ножниц — радиального и осевого перекрытий (зазоров). Характеристика этого явления представлена на рисунке 2. Обусловлено это явление тем, что вершины A и B режущих кромок ножей смещаются соответственно в новое положение — точки A_1 и B_1 . Первоначальный боковой (для дисковых ножей) зазор x увеличивается до значения x_1 , а первоначальное радиальное перекрытие y уменьшается до показателя y_1 . По мере изнашивания режущих кромок увеличивается радиус притупления r и, соответственно, возрастает площадь изношенного участка режущего элемента ножей.

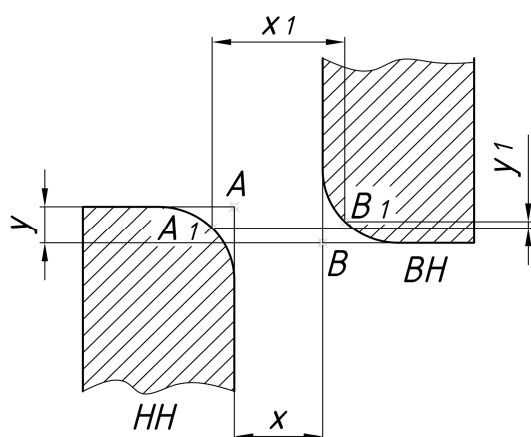


Рисунок 2 Схема изменения показателей настройки ножниц в результате износа режущей кромки: HH и BH — соответственно нижний и верхний ножи

Из рисунка 1, а следует, что изношенная часть режущей кромки в секущей плоскости представляет собой площадку в виде прямоугольного треугольника 1 с криволинейно вогнутой гипотенузой 2.

Скорость изнашивания режущей кромки ножа, очевидно, имеет непрямолинейный характер и обуславливается рядом факторов: материалом ножей и разрезаемого проката, усилиями и температурой в очаге реза, скоростью движения ножа (скоростью резки), наличием или отсутствием охлаждающей ножи жидкости.

Так, при горячей резке непрерывнолитых заготовок, блюмов и слябов, толстолистовых раскатов рабочая кромка ножа циклически контактирует с металлом, имеющим температуру $950 \div 1100$ °С. Процесс резки сопровождается подачей на ножи охлаждающей жидкости.

Исследование многофакторного влияния на эксплуатационную надёжность ножей показывает, что процесс изнашивания режущих участков инструмента можно разделить на три последовательных временных периода [4].

В начале эксплуатации нового ножа процесс изнашивания режущей кромки происходит при больших удельных нагрузках на острые кромки, трении её о горячий металл и вследствие небольшого объёма новой кромки, её прямоугольная форма изменяется путём пластической деформации, сопровождающейся микроразрушениями.

Дальнейшая работа ножа в тех же тяжёлых условиях ускоряет изнашивание и скругление кромки. Ведущим фактором в этом случае является смятие со сдвигом макрослоёв поверхности режущего участка. Радиус закругления кромки постепенно увеличивается, обуславливая перераспределение параметров настройки ножниц (рис. 2).

Этот период можно классифицировать как механическое изнашивание совместно с пластическим деформированием.

Качество поверхности реза начинает заметно снижаться. При достижении допус-

тимой (для конкретного сортамента и условий резки) величины радиуса затупления изнашивание сопровождается разрушением поверхностного слоя, его коррозией и растрескиванием. Предполагается, что это коррозионно-механическое изнашивание. Ножи такого состояния подвергают перекантовке или, если все кромки использованы, отправляют на перешлифовку. Качество реза такими ножами низкое и недопустимо для товарной продукции [6].

На рисунке 3 представлено фото раската толщиной $h=25$ мм, надрезанного ножом с величиной изношенной кромки до $r=2,7$ мм. В выделенном пунктирной линией фрагменте видно, что состояние поверхности реза имеет задиры и заусенцы, что недопустимо.

С целью изучения кинетики износа режущей кромки ножей и определения критической величины их затупления были выполнены исследования на промышленных ножницах толстолистового стана 2800 (после реконструкции — стан 3000) АМК [5].

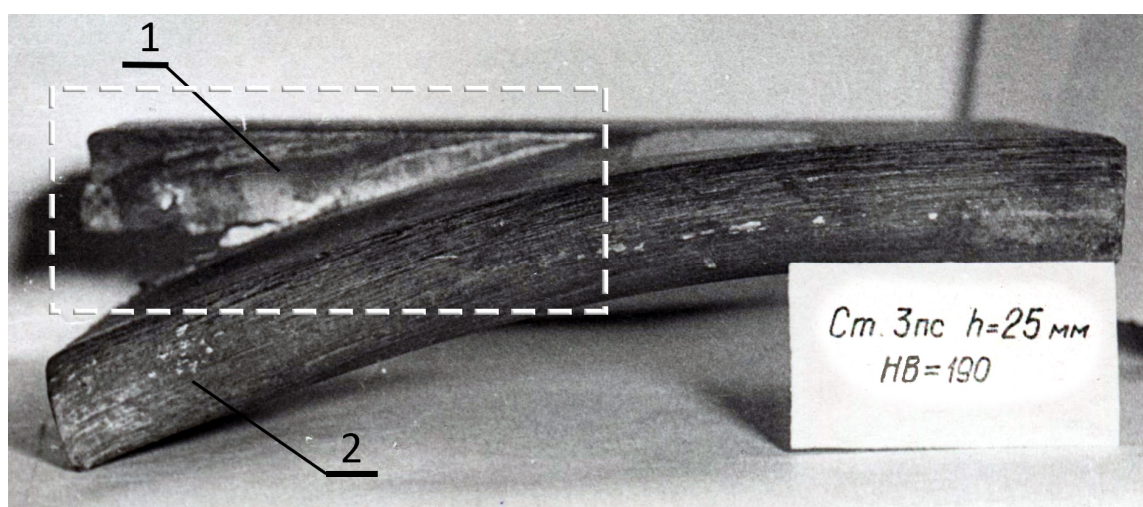
В процессе исследования контролировали изменение внешнего вида и формы режущей кромки, измеряли площадь износа режущей части ножа. Определение формы и величины площади износа кромки производили методом снятия гипсовых отпечатков в

строгое установленном месте активной части ножа. Гипсовые слепки обрабатывали мелкой шлифовальной бумагой, после чего изготавливали снимки с 15-кратным увеличением. По снимкам площадку износа кромки измеряли планиметром типа ПП-2К. Одновременно со снятием отпечатков фиксировали сортament и количество тонн порезанного металла.

На рисунке 4 приведены копии увеличенного изображения изношенного участка режущей кромки ножа, что позволило повысить точность измерения износа.

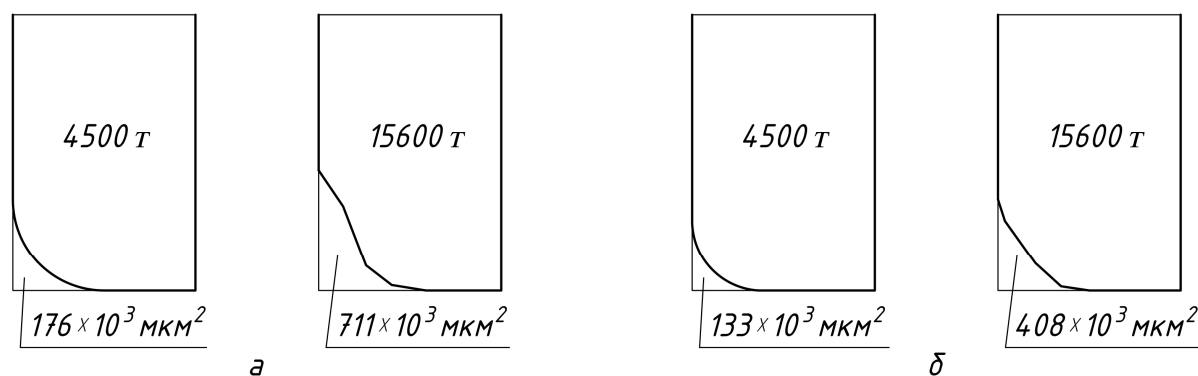
Из рисунка 4 следует, что после порезки 4,5 тыс. т металла режущая кромка имела явно выраженный радиус скругления у обоих ножей, изготовленных из разных марок сталей с применением различных технологий упрочнения. Однако радиус скругления оказался разным по величине: $r=0,41$ мм у первого ножа (рис. 4, а) и $r=0,33$ мм у второго (рис. 4, б). Дальнейшее увеличение тоннажа порезки металла свидетельствует, что форма износа рабочей поверхности ножа претерпевает изменения. Вместо скругленности образуется некоторая криволинейность, особенно у менее износостойкого ножа из стали 45ХН2Ф (рис. 4, а).

Результаты производственного эксперимента приведены в таблице 1.



1 — поверхность разделения листа; 2 — боковая кромка листового проката

Рисунок 3 Фотоснимок порезанного на ножницах толстолистового раската



а — нож изготовлен из стали марки 45ХН2Ф, с упрочнением кромки электроискровым легированием металлокерамическим сплавом Т5К10, HRC 50; б — нож изготовлен из стали 28Х3СНМВФА без упрочнения кромки электроискровым легированием, HRC 50

Рисунок 4 Формы и величины износа режущей кромки ножей

Анализ данных таблицы 1 показывает, что наиболее интенсивно изнашиваются режущие поверхности в начальный период эксплуатации ножей, когда на объём металла острой кромки действуют большие удельные силовые (а при обработке горячих раскатов — и температурные) нагрузки.

После порезки 1500 т проката площадка абсолютного износа режущей кромки составила $88 \times 10^3 \text{ мм}^2$, а его относительная величина была равна $58,67 \times 10^3 \text{ мм}^2/1000 \text{ т}$; у второго ножа соответственно $60,5 \times 10^3 \text{ мм}^2$ и $40,33 \times 10^3 \text{ мм}^2/1000 \text{ т}$. Затем эти показатели снижались у обоих ножей. Однако после порезки 8,8 тыс. т металла площадка износа несколько возросла, а при обработке 15,6 тыс. т наметилась тенденция к

уменьшению, о чём свидетельствуют показатели относительного износа — $45,58 \times 10^3 \text{ мм}^2/1000 \text{ т}$ первого ножа и $26,15 \times 10^3 \text{ мм}^2/1000 \text{ т}$ у второго.

Обоснованием этому служит разнообразный по марочному составу и размерам поперечного сечения сортамент листовых раскатов. В процессе выполнения производственного эксперимента порезке подвергались листовые раскаты толщиной от 14 до 50 мм, групп и марок сталей, приведённых в таблице 2.

Экспериментом установлена более высокая износостойкость ножа из стали 28Х3СНМВФА, чем из стали марки 45ХН2Ф.

Таблица 1

Абсолютные и относительные величины износа режущих кромок ножей

№	Количество часов работы от начала эксперимента	Порезано листовых раскатов, тыс. т	Абсолютная величина площади износа режущей кромки в сечении ножа, $F, \times 10^3 \text{ мм}^2$		Относительная величина износа режущей кромки в сечении ножа, $\Delta F, \times 10^3 \text{ мм}^2/\text{тыс. т.}$	
			нож 1	нож 2	нож 1	нож 2
1	72	1,5	88	60,5	58,67	40,33
2	264	4,5	176	133	39,11	29,56
3	368	6,8	222	223	32,65	32,79
4	432	8,8	488	333	55,45	37,84
5	624	15,6	711	408	45,58	26,15

Таблица 2

Данные о раскатах, порезанных на ножницах толстолистового цеха в процессе исследования

№	Наименование группы сталей	Марки сталей	Доля в общем тоннаже
1	Простые углеродистые	08кп, 3кп, 3сп, Сталь 10, 20к	15 %
2	Конструкционные	40, 45, 50	32 %
3	Низколегированные	14ХГС, 17ХГС, 09Г2С, 10Г2С, 15Г, 17ГС, 62ГС, 10НСНД	50 %
4	Высокопрочные и легированные	65Г, Н9Т, Х18Т, Х23Н18, 10ХН1М, Х18Н10Т	3 %
Итого			100 %

После порезки 15,6 тыс. т проката разница формы и размеров износа кромки у ножей очевидна. У ножа из стали 45ХН2Ф после порезки 4,5 тыс. т площадь износа составила 176×10^3 мкм², после 15,6 тыс. т — 711×10^3 мкм². Относительный износ рабочей кромки составил $39,11 \times 10^3$ мкм²/1000 т и $45,57 \times 10^3$ мкм²/1000 т соответственно. Отношение площадей износа после порезки 15,6 тыс. т и 4,5 тыс. т (F_{\max}/F_{\min}) для первого (рис. 4, а) ножа составляет 4,04, а у второго ножа (рис. 4, б) это соотношение равно 3,07.

Анализ полученных результатов показывает, что износостойкость ножа из материала 28Х3СНМВФА выше, чем у ножа из стали 45ХН2Ф с кромкой, упрочнённой электролегированием микрокерамическим сплавом Т5К10. Такой результат был получен в работе [5].

Для установления износостойкости режущей кромки ножей при порезке высокопрочных ($\sigma_b = 1000 \div 2100$ МПа) марок сталей были проведены эксперименты на лабораторных ножницах усилием резки 250 кН. Конструкция ножниц позволяла изменять наклон верхнего ножа на требуемый угол, что обусловило процесс порезки как плоскопараллельными, так и наклонными (гильотинными) ножами [7].

Ножи изготавливали из стали марки 55WCrV7 с твёрдостью после термообработки HRC 55. Здесь также величину износа ножа определяли путём снятия гипсовых отпечатков, как и на промышленных ножницах. Только в этом эксперименте отпечат-

ки снимали при фиксированном числе резов по нарастающей с шагом в 200 единиц.

Зависимости площади износа режущей кромки верхнего и нижнего ножа от числа резов представлены на рисунке 5. Порезке подвергались полосы толщиной 8 мм из стали 28Х3СНМВФА с пределом прочности 1500 МПа.

Из рисунка 5 следует, что до 200 резов характер износа режущих участков обоих (верхнего и нижнего) ножей практически одинаков, хотя абсолютная величина износа несколько больше у верхнего ножа. Дальнейшая порезка обуславливает интенсификацию износа кромки верхнего ножа, в то время как нижний нож до 1200 резов подвержен незначительному износу. Однако после 1400 резов ускоряется износ нижнего ножа. При достижении 2000 резов площадь износа верхнего ножа составила 500 мкм², и опыт прекратили из-за неудовлетворительного качества резки.

Аналитически описанный выше характер износа может быть представлен зависимостями площади износа F режущей кромки ножа от количества резов n (рис. 5). Установлено, что износ режущих кромок верхнего ножа линейно зависит от количества резов $F_1 = 0,2605 \cdot n$ (критерий $R^2 = 0,98$), а износ рабочих участков нижнего ножа, возрастающий по мере увеличения числа вхождений ножей в заготовку, лучше аппроксимирует полином вида

$$F_2 = 1 \times 10^{-7} \cdot n^3 - 2 \times 10^{-4} \cdot n^2 + 0,189 \cdot n. \quad (1)$$

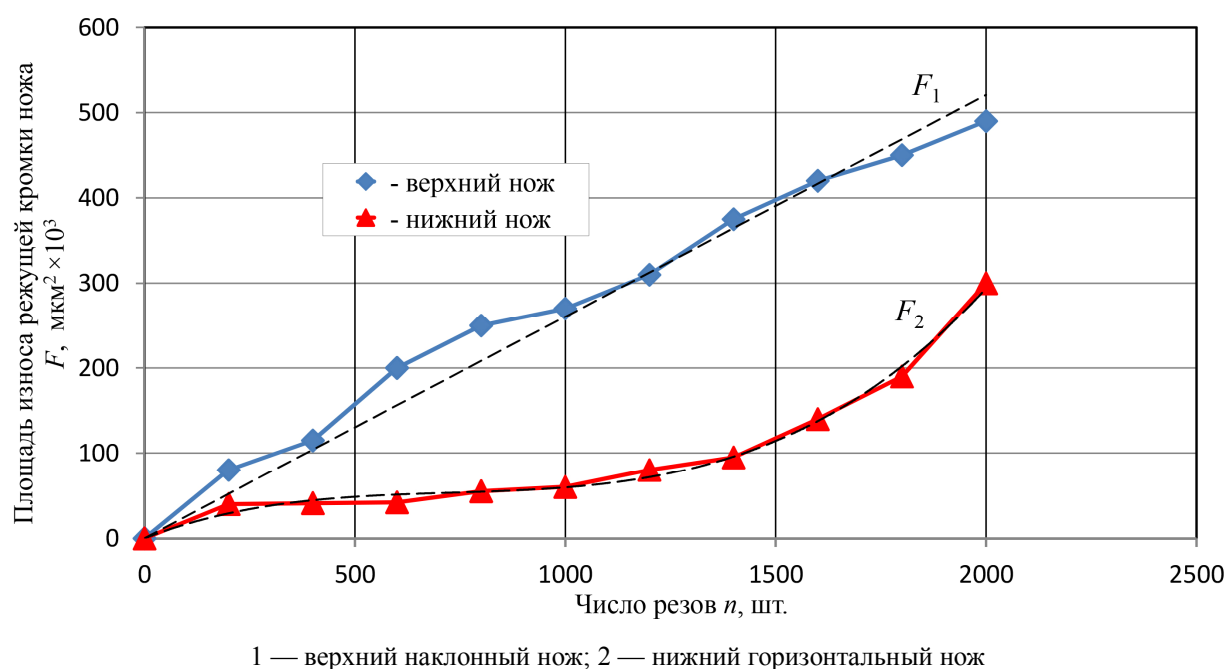


Рисунок 5 Зависимости износа режущей кромки ножей от числа резов высокопрочной стали

При этом критерий $R^2=0,99$. Анализ значительного числа полученных графиков показывает, что во всех опытах (ножи из разных марок стали и с разной твёрдостью) более интенсивному износу подвержен наклонный нож — в этом эксперименте верхний.

Экспериментально установлено, что при недостаточной (ниже $58\div 60$ HRC) твёрдости ножа в процессе порезки высокопрочного материала ($\sigma_b > 1000$ МПа) наряду с механическим износом протекает в большей степени пластическая деформация режущей кромки. Имел место случай, когда порезка полос металла с пределом прочности 1500 МПа ножами из стали 55ХВФ7 твёрдостью 55 HRC была прекращена при 1050 резах из-за пластической деформации режущей части верхнего наклонного ножа. Поверхность реза была неровной. Разделение полосы произошло по криволинейной поверхности.

Размер радиуса притупления кромки имел величину значительно меньшую, чем рекомендуется определять по зависимости

$$r = (0,18 \div 0,30) \cdot \varepsilon_{omp} \cdot h, \quad (2)$$

где ε_{omp} — коэффициент относительного отрыва (скола); h — толщина полосы.

Величина r обусловлена многими факторами: материалом и технологией его изготовления, сортаментом и температурой проката, условиями порезки и пр. Установлено, что допустимый радиус износа различен для горячей и холодной резки металла. Достоверность его величины устанавливают экспериментально для конкретных условий порезки. Более достоверным показателем пригодности ножей для процесса качественной порезки является относительный износ режущей кромки.

Выводы. При множестве факторов, влияющих на стойкость режущего инструмента ножниц, производственному персоналу участка резки цеха необходимо мониторить состояние кромки ножа, чтобы радиус износа не превышал допустимых пределов, обуславливающих низкое качество поверхности реза.

Замер величины износа кромки возможен только во время профилактики и внеплановой остановки ножниц, что снижает ритмичность работы оборудования участка резки.

Применённый в исследовании замер величины износа методом снятия гипсовых отпечатков с режущего участка ножа не является оперативным из-за временных затрат, необходимых для выполнения замеров и обработки результатов.

С учётом порезки разнообразного сортамента проката даже в течение смены, наиболее достоверным будет показатель износа

режущих кромок в зависимости от тоннажа обработанной продукции, который наиболее удобен в качестве ориентира для перекалтовки или замены комплекта ножей.

Дальнейшее исследование позволит конкретизировать величину предложенного показателя, в границах которого ножи обеспечат качественную порезку листового металлопроката.

Библиографический список

1. Гребеник, В. М. Повышение надёжности металлургического оборудования [Текст] : справочник / В. М. Гребеник, А. В. Гордиенко, В. К. Цапо. — М. : Металлургия, 1988. — 688 с.
2. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали [Текст] / Ю. А. Геллер. — М. : Металлургия, 1983. — 527 с.
3. Жуков, И. Б. Исследование и оптимизация электромеханических систем управления комплексом резки листового проката : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Жуков Илья Борисович. — Санкт-Петербург, 2006. — 279 с.
4. Журда, А. П. Материалы и оборудование для наплавки ножей горячей резки металла [Текст] / А. П. Журда, А. П. Ворончук, А. А. Фомакин, С. И. Великий // Автоматическая сварка : междунаро. науч.-техн. и произв. журнал. — 2015. — № 5/6. — С. 100–102.
5. Ульяницкий, В. Н. Анализ эффективности методов повышения стойкости и долговечности режущего инструмента ножниц прокатного производства [Текст] / В. Н. Ульяницкий, П. А. Петров, О. В. Ульяницкая, Г. А. Билан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — Вып. 15 (58). — С. 78–86.
6. Эксплуатация, обслуживание и уход за оборудованием района дисковых ножниц. Производственно-техническая инструкция. — Алчевск : АМК, 2007. — 25 с.
7. Ульяницкий, В. Н. Некоторые особенности порезки высокопрочных сталей [Текст] / В. Н. Ульяницкий и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. — Днепрпетровск, 1975. — № 3. — С. 17–21.

© Ульяницкий В. Н.

© Петров П. А.

© Орлов А. А.

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

Статья поступила в редакцию 25.11.19.

**к.т.н. Ульяницкий В. Н., к.т.н. Петров П. О., Орлов А. А. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
ВПЛИВ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НОЖИЦЬ НА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ
І ЯКІСТЬ РІЗА ПРОКАТУ**

Виконано аналіз результатів виробничого і лабораторного дослідження зносостійкості різального інструменту ножниць прокатних цехів при обробці звичайних і високоміцних марок сталей. Показано характер зносу кромки ножа і його вплив на якісні показники порізки. Визначено найбільш достовірний для обслуговуючого персоналу показник необхідності заміни зношених ножів.

Ключові слова: матеріал ножів, властивості ножів, різуча кромка, стадії і характер зносу, відносний знос, налаштування ножниць.

PhD in Engineering Ul'yanitskiy V. N., PhD in Engineering Petrov P. A., Orlov A. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INFLUENCE OF STATE OF SHEAR CUTTING TOOL ON THE POWER SETTINGS AND QUALITY OF ROLL STOCK CUTTING

The analysis of results of production and laboratory research of wear resistance of the shear cutting tool of rolling shops at processing of usual and high-strength steel grade is done. There has been shown the knife edge wear pattern and its influence on the quality factors of cutting. The most reliable factor of the necessity to replace worn-out knives for staffing was determined.

Key words: *knife material, knife properties, cutting edge, stages and nature of wear, relative wear, shear setting.*

УДК 664.73.05

Спорняк В. Г.,
к.т.н. Левченко Э. П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО МАЛОГАБАРИТНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

Проанализированы проблемы в отечественном животноводстве с точки зрения укомплектования малых фермерских хозяйств оборудованием для переработки кормовых сельскохозяйственных культур. Выявлены основные недостатки существующих типовых конструкций дробильно-измельчительных машин, предложена и обоснована конструкция вертикального двухступенчатого модульного измельчителя режуще-ударного действия.

Ключевые слова: вертикальный режуще-ударный измельчитель, животноводство, корма, преимущества, эффективность, малые фермерские хозяйства.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Переход к рыночной экономике и связанное с этим процессом реформирование собственности в сельском хозяйстве способствовали интенсивному становлению и развитию фермерских хозяйств. Однако они не заняли заметного места в производстве продукции животноводства.

Пока процесс формирования и становления фермерских хозяйств идёт болезненно, в том числе это связано с тем, что они крайне плохо обеспечены необходимой техникой и оборудованием.

Так, например, энерговооружённость труда в фермерских хозяйствах в 5–10 раз ниже, чем ранее в колхозах, хотя в последних она также в два раза ниже, чем в фермерских хозяйствах США [1]. Особенно слаба обеспеченность фермерских хозяйств машинами и оборудованием, позволяющими механизировать обслуживание крупного рогатого скота, свиней, птиц, хранение и подготовку кормов.

Отсутствие необходимых машин, удовлетворяющих требованиям фермерских хозяйств по объёмам работ и производительности, надёжности и универсальности, удобству обслуживания, энергоёмкости и металлоёмкости, вместе с крайне высокими ценами на них пока всё ещё является

причиной, и впредь сдерживающей эффективное развитие этой новой формы товаропроизводителей [2].

Из-за нерешённости указанных проблем подавляющая часть (80...85 %) зарегистрированных фермерских хозяйств ещё не стала производителями товарной продукции. Тяжёлое финансовое положение крестьянских хозяйств из-за диспаритета цен приводит к снижению активности сельского населения в фермерстве. Если в 1992 г. 5,8 % сельских работников изъявили желание стать фермерами, то в 1993 г. — лишь 1,4 % [3].

Отечественный и мировой опыт свидетельствуют, что только при механизированной технологии наиболее полно используется биологический потенциал породных качеств животных, гарантируется окупаемость расходовемых кормов.

Поэтому актуальным направлением является разработка и создание дробильно-измельчительных машин максимально компактного исполнения и металлоёмкости, обладающих, наравне со сравнительно малыми энергозатратами, высокой удельной производительностью, что рационально обосновывается вертикальной компоновочной схемой, обеспечивающей отсутствие дополнительных сопротивлений движению измельчаемого материала при его транспортировании на разных технологических этапах.

Рост производства продукции животноводства во многом зависит от развития производства кормов и их приготовления. Необходимыми и обязательными условиями интенсификации животноводства является обеспечение не только устойчивой кормовой базы, но и приёмов переработки и приготовления кормов, обеспечивающих их наиболее эффективное использование.

Эффективность использования кормового сырья связана, прежде всего, с рациональными техническими приёмами его обработки. Существующие технологии приготовления кормов дают возможность не только сохранять их питательность и повышать усвояемость животными, но и обогащать в процессе обработки различными добавками. Одно из главных условий повышения продуктивности животных — их

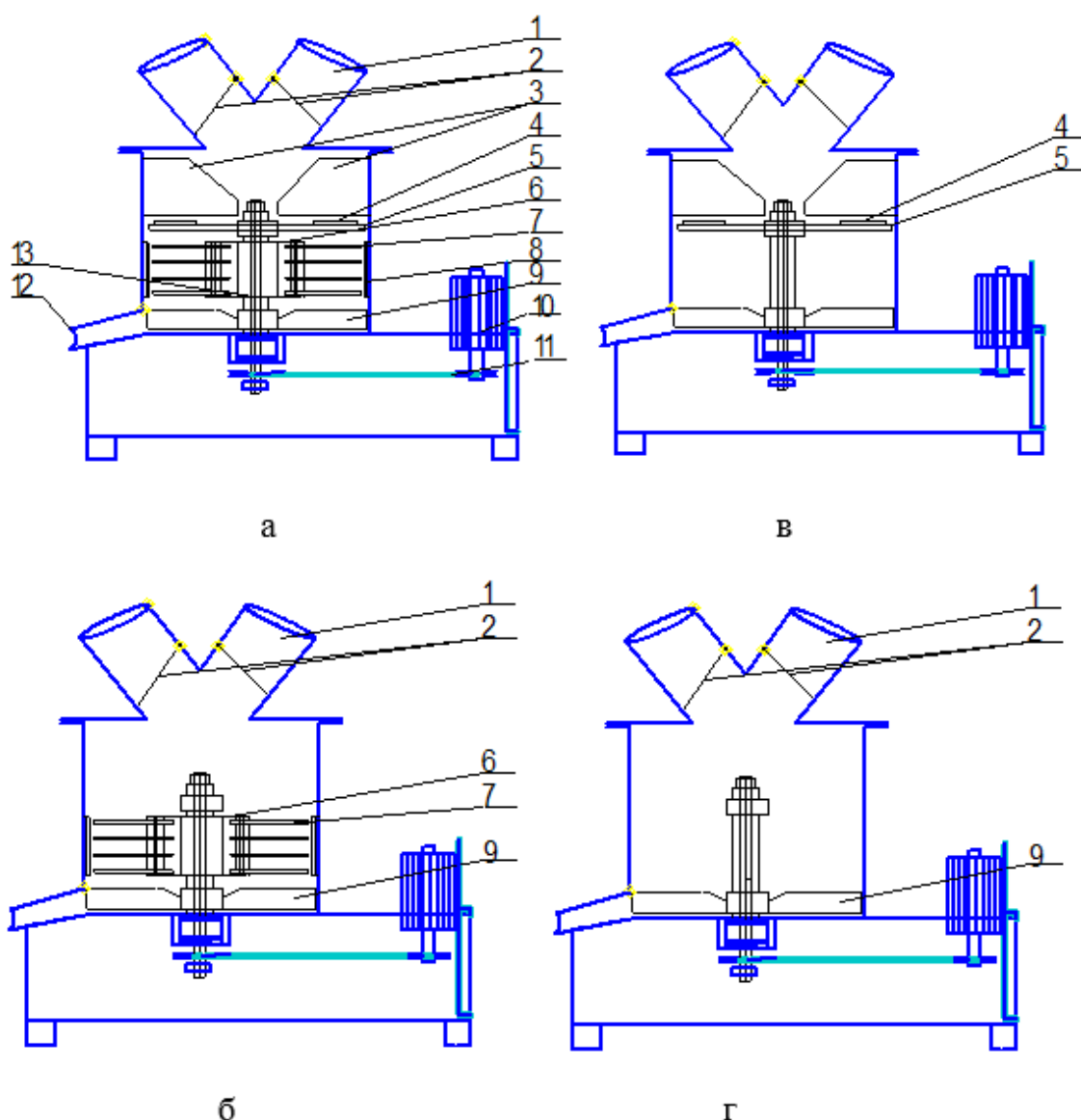
обеспечение хорошо приготовленными кормами, что способствует повышению удоя коров на 5...9 % и увеличению прироста массы молодняка на 11...20 % [4].

Постановка задачи. Задачей данной работы является повышение эффективности механизации приготовления кормов на малых фермах путём создания новых малогабаритных конструкций перенастраиваемых измельчителей, обладающих высокой производительностью и достаточно малой энергоёмкостью.

Изложение материала и его результаты. В конструкции разработанного измельчителя (рис. 1) применяется ряд оригинальных технических решений [5], а именно вертикально расположенный вал, что позволяет использовать его в разных технологических схемах (рис. 2).



Рисунок 1 Малогабаритный универсальный измельчитель



1, 2 — загрузочная горловина; 3 — противорезы; 4, 5 — диск с ножами; 6 — молотковый барабан; 7 — молотки; 8 — дека; 9 — лопастная швырляка; 10 — электродвигатель; 11 — клиноременная передача; 12 — выгрузочное окно; 13 — вертикальный вал;

Рисунок 2 Технологические схемы измельчителя:

а — двухступенчатое измельчение початков кукурузы при помощи диска с ножами и молоткового барабана; б — измельчение зерновых при помощи молоткового барабана и грубых кормов с использованием ножевого барабана, одновременное измельчение и смешивание различных кормов; в — измельчение корнеклубнеплодов, овощей и фруктов при помощи диска с ножами; г — смешивание уже измельчённых кормов

Особое внимание представляет двухступенчатый процесс измельчения початков кукурузы, так как при рациональном использовании получаемая зерностержневая смесь является ценным кормом для животных. Стержни початков составляют около

половины части урожая зерновой кукурузы и могут стать дополнительным резервом органических кормовых компонентов.

На сегодняшний день для измельчения початков кукурузы используют процесс дробления или резания. Подготовка сырья

путём дробления обладает высокой производительностью (1500–3500 кг/час), но при этом имеет следующие недостатки:

– большую материалоемкость, что увеличивает стоимость готового продукта и выдвигает требование к наличию площади для установки дробильного оборудования на малых фермах;

– высокую энергоёмкость, что составляет основную долю от всех приведённых затрат на измельчение, поэтому удельная энергоёмкость и энергоёмкость процесса измельчения должны быть предельно малыми.

Процесс резания является менее энергоёмким, но при этом характеризуется низкой производительностью (50–300 кг/час) и качеством измельчения.

Двухступенчатый процесс измельчения початков кукурузы [6–8] позволяет достичь производительности свыше 1000 кг/час при достаточно выгодных его параметрах и показателях применяемого оборудования (табл. 1).

Частота вращения вала при необходимости может легко изменяться при помощи сменных шкивов привода различного диаметра, в том числе за счёт использования ступенчатых шкивов.

Отличительными особенностями измельчителя по сравнению с существующими типовыми конструкциями дробиль-

но-измельчительных машин, выпускаемых промышленностью, является:

– отсутствие решета и обеспечение возможности циркуляции измельчаемого материала в рабочей камере;

– повышенная производительность, качество продуктов помола, надёжность и эффективность осуществляемого технологического процесса;

– возможность регулирования крупности помола и отбора проб в рабочем режиме измельчителя без его остановки;

– самоочищение деки при измельчении вязких материалов повышенной влажности;

– полная автоматизация управления и регулирования технологического процесса;

– простота эксплуатации и удобство технического обслуживания;

– мобильность;

– снижение энергоёмкости, потерь продуктов помола, износа рабочих органов, габаритов, шума, вибрации и запылённости рабочей зоны.

Выводы и направление дальнейших исследований. В первую очередь техническая вооруженность хозяйств обеспечивает зоотехнические требования кормления, содержания и обслуживания животных на требуемом уровне, что гарантированно оправдывает затраты получаемым объёмом и качеством произведённой продукции.

Таблица 1

Основные характеристики двухступенчатого измельчителя

Параметры	Величина
Потребляемая мощность, кВт/час	3
Частота вращения вала, об/мин	3000
Напряжение, В	220–380
Габаритные размеры: длина, мм ширина, мм высота, мм	1000 450 1200
Масса, кг	150

В связи с тем, что в настоящее время потери сырья в фермерских хозяйствах достаточно велики, им необходимы измельчители, имеющие низкую удельную

энергоёмкость и способные обеспечивать качество измельчения, соответствующее зоотехническим требованиям.

Библіографічний список

1. Ляцук, Р. Н. Основные направления развития молочного скотоводства в Орловской области [Текст] / Р. Н. Ляцук, В. Н. Мосалов, А. И. Шендаков. // Вестник ОрёлГАУ. — Орёл : ОрёлГАУ, 2011. — Вып. 1 (11). — С. 9–13.
2. Спорняк, В. Г. Аналіз розвитку тваринництва в малих формах господарювання [Текст] / В. Г. Спорняк // Крымский экономический вестник. — 2014. — № 3 (10). — С. 131–134.
3. Леонов, Д. В. Крестьянские (фермерские) хозяйства в аграрной политике государства : конец XX–начало XXI вв. : на материалах областей Нижнего Поволжья [Текст] : дис. ... канд. ист. наук : 07.00.02 / Леонов Дмитрий Михайлович ; Саратовский государственный ун-т. — Саратов, 2003. — 198 с.
4. Спорняк, В. Г. Резервы использования машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия в условиях рыночной экономики [Текст] / В. Г. Спорняк, С. А. Спорняк // Стратегия экономического развития России с учётом влияния мирового сообщества : материалы VII международной научно-практической конференции. — Луганск : ЛГУ им. Т. Шевченко, 2015. — С. 117–122.
5. Пат. № 16438 Украина, МКІР В 02 С 13/14. Двухступенчатый измельчитель кочанов кукурузы / Н. В. Брагинец, В. Г. Спорняк. — № u200600693 ; заявл. 26.01.06 ; опубл. 01.08.06, Бюл. № 8.
6. Брагинец, Н. В. Обоснование и выбор конструктивно-технологической схемы измельчителей початков кукурузы для малых ферм [Текст] / Н. В. Брагинец, С. Ф. Вольвак, В. Г. Спорняк // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. — Луганськ : Видавництво ЛНАУ, 2004. — № 42/54. — С. 38–44.
7. Спорняк, В. Г. Обоснование основных параметров вертикального режущо-ударного измельчителя [Текст] / В. Г. Спорняк, Э. П. Левченко, О. А. Левченко, И. А. Карпук // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО КУН «ДонГТУ», 2019. — Вып. 15 (58). — С. 99–105.
8. Шаповалов, В. И. Разработка и исследование адаптера для измельчения початков кукурузы к гибкому малогабаритному кормоприготовительному агрегату [Текст] / В. И. Шаповалов, С. Ф. Вольвак, В. Г. Спорняк // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. — Луганськ : Видавництво ЛНАУ, 2001. — № 10. — С. 42–50.

© Спорняк В. Г.

© Левченко Э. П.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым А. Ю., д.т.н., проф., зав. каф. АТ ЛНУ им. В. Даля. Замотой Т. Н.

Статья поступила в редакцию 25.11.19.

Спорняк В. Г., к.т.н. Левченко Е. П. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

НАПРЯМКИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДВОСТУПЕНЕВОГО МАЛОГАБАРИТНОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

Проаналізовано проблеми у вітчизняному тваринництві з точки зору укомплектування малих фермерських господарств обладнанням для переробки кормових сільськогосподарських культур. Виявлено основні недоліки існуючих типових конструкцій дробарно-дрібнювальних машин, запропоновано та обґрунтовано конструкцію вертикального двоступеневого модульного подрібнювача ріжучо-ударної дії.

Ключові слова: вертикальний ріжучо-ударний подрібнювач, тваринництво, корми, переваги, ефективність, малі фермерські господарства.

Sporniak V. G., PhD in Engineering Levchenko E. P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

DIRECTIONS OF PERSPECTIVE USE OF TWO-STAGE SMALL-SIZED UNIVERSAL CRUSHER

There have been analyzed the problems in domestic animal-breeding with regard to staffing the small farms with feed crops processing equipment. The main disadvantages of the existing typical designs of crushing and grinding machines are revealed, the design of a vertical two-stage modular crusher of cutting and impact action is proposed and justified.

Key words: *vertical cutting and impact crusher, animal-breeding, feed, advantages, efficiency, small farms.*

УДК 621.926.9

Власенко Д. А.,
к.т.н. Левченко Э. П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛОТКОВ С МАТЕРИАЛОМ В ЗОНЕ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЁТКИ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ

На основании второго закона Ньютона разработана математическая модель движения молотка и частицы материала в процессе их взаимного контакта с колосниковой решёткой в молотковой дробилке. В результате аналитических исследований определены зависимости угла отклонения ударного органа относительно его радиального положения и величины колосникового зазора при контактном взаимодействии с рабочей поверхностью колосниковой решётки в процессе дробления материалов различного фракционного состава в условиях подготовки агломерационной шихты.

Ключевые слова: молотковая дробилка, молоток, колосниковая решётка, кусок материала, угол отклонения молотка, колосниковый зазор.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Фракционная подготовка материалов широко распространена и используется в различных отраслях промышленности, в частности в металлургии. На металлургических предприятиях процессы дробления и измельчения применяются для подготовки шихтовых материалов, а именно агломерационных флюсов и твёрдого топлива, путём диспергирования исходного сырья до необходимых размеров.

Пока ещё эти процессы являются весьма энергоёмкими и сопряжены со значительным износом рабочих органов дробильных машин [1].

Поэтому изучение и повышение эффективности данных процессов с целью увеличения срока службы рабочих органов и узлов дробилок, а также повышения технико-экономических показателей самого процесса дробления является весьма актуальным и существенно влияет на процесс агломерации шихтовых материалов в металлургии [2].

Постановка задачи. Задачей данного исследования является математическое обоснование основных параметров процесса взаимодействия молотка с материалом при установившемся движении в зоне

колосниковой решётки молотковой дробилки на основании второго закона Ньютона — дифференциального закона механического движения.

Изложение материала и его результаты. Для математического моделирования взаимного контакта молотка, материала и колосниковой решётки в процессе дробления при работе молотковой дробилки необходимо принять следующие допущения:

- отдельный кусок материала представляется в виде шара;
- кусок материала при скольжении по колосниковой решётке не вращается относительно своей оси;
- силами трения в оси подвеса молотка пренебрегаем;
- инерцией частицы пренебрегаем.

В процессе определения основных параметров движения рабочих органов и куска в зоне колосников необходимо исследовать условия контакта молотков с материалом при их движении относительно рабочей поверхности колосниковой решётки, для чего разрабатывается математическая модель на основе второго закона Ньютона (дифференциального закона механического движения) [3]. Расчётная схема данного процесса представлена на рисунке 1.

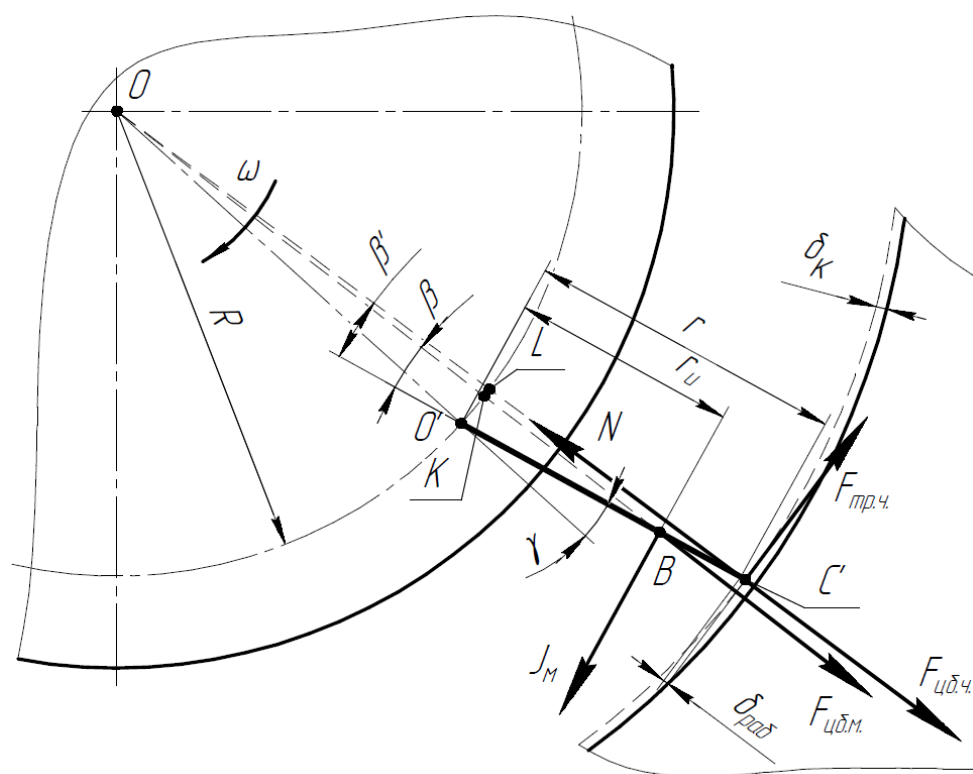


Рисунок 1 Расчётная схема для определения параметров движения молотка и материала при взаимодействии с колосниковой решёткой в молотковой дробилке

Представим массив материала, располагающийся на колосниковой решётке, в виде условно сосредоточенной частицы массой m_q , вступающей в контактное взаимодействие с молотками, а молотки — в виде условного плоского тела массой m_m . В этом случае центр взаимодействия ударных элементов с частицей материала на колосниках при его вращательном движении будет расположен в условной точке C' (рис. 1).

Движение системы молоток-частица характеризуется следующими параметрами: углом отклонения молотка γ , скоростью движения частицы относительно колосниковой решётки v_q и расстоянием между молотком и колосниковой решёткой (колосниковым зазором) δ_k . Для определения угла отклонения ударного органа γ рассмотрим движение в неинерциальной системе отсчёта при скольжении куска по рабочей поверхности колосниковой

решётки под воздействием вращательного движения молотка относительно центра ротора. В ней действуют следующие силы:

– центробежная сила при вращательном движении молотков $\bar{F}_{цб.м.}$, которую с достаточной точностью можно определить по формуле

$$F_{цб.м.} = m_m \omega^2 (R + r_u), \quad (1)$$

где ω — угловая скорость вращения ротора; R — радиус осей подвеса молотков относительно оси ротора; r_u — радиус инерции молотка;

– момент инерции молотков находим по зависимости

$$M_u = m_m r_u^2 \ddot{\gamma}, \quad (2)$$

где $\ddot{\gamma}$ — угловое ускорение молотка;

– центробежная сила куска материала при вращательном движении определяется как

$$F_{цб.ч.} = m'_q \omega^2 (R+r), \quad (3)$$

где m'_q — масса частиц в слое, взаимодействующем с молотком;

– сила нормальной реакции N от действия центробежной силы куска;

– сила трения, возникающая при скольжении частицы по поверхности колосниковой решётки:

$$F_{тр.ч.} = Nf, \quad (4)$$

где f — динамический коэффициент трения скольжения дробимого материала по материалу колосниковой решётки.

Сила нормальной реакции N будет численно равна центробежной силе куска при его вращательном движении $F_{цб.ч.}$.

Учитывая вышесказанное и основываясь на принципе Даламбера [4], рассмотрим молоток как тело, находящееся в равновесии относительно оси его подвеса (точка O' , рис. 1):

$$\sum M_{O'} = 0; \quad (5)$$

$$M_u + F_{цб.м.} O'K - F_{тр.ч.} r \cos \gamma = 0.$$

Тогда угол отклонения молотков γ может быть определён исходя из дифференциального уравнения движения в процессе взаимодействия частицы материала с колосниковой решёткой:

$$m_m r_u^2 \ddot{\gamma} + m_m \omega^2 R'_u r_u \sin \beta = m'_q \omega^2 (R+r) r f. \quad (6)$$

С учётом того, что угол отклонения молотков γ предполагается в достаточной степени малым, можно предположить, что $\sin \gamma \approx \gamma$, $R'_u \approx R + r_u$, а $\beta = \frac{R}{R+r} \gamma$. В этом случае зависимость (6) принимает следующий вид:

$$\ddot{\gamma} + \frac{\omega^2 (R+r_u) R}{r_u (R+r)} \gamma = \frac{\omega^2 (R+r) r f}{k_m r_u^2}, \quad (7)$$

где k_m — отношение (коэффициент) массы куска материала к массе ударного органа [5]:

$$k_m = \frac{m_m}{m_q}. \quad (8)$$

Общее решение уравнения (7) имеет вид

$$\gamma = A \sin \sqrt{qt} + B \cos \sqrt{qt} + \frac{w}{q}, \quad (9)$$

где

$$q = \frac{\omega^2 (R+r_u) R}{r_u (R+r)}, \quad (10)$$

$$w = \frac{\omega^2 (R+r) r f}{k_m r_u^2}. \quad (11)$$

Постоянные уравнения A и B определяются из начальных условий движения системы при $t = 0$:

$$\gamma = 0, \quad \dot{\gamma} = 0. \quad (12)$$

Исходя из начальных условий, формула (8) выглядит таким образом:

$$\gamma = -\frac{w}{q} \cos \sqrt{qt} + \frac{w}{q}. \quad (13)$$

Так как угол отклонения ударного элемента $\cos \gamma$ принимает максимальное значение при $\sqrt{qt} = \pi$, то

$$\gamma = 2 \frac{w}{q}. \quad (14)$$

Подставив значения q и w в формулу (14), получаем

$$\gamma_{max} = \frac{2(R+r)^2 r f}{k_m r_u (R+r_u) R}. \quad (15)$$

На рисунке 2 приведено графическое отображение теоретической зависимости угла отклонения рабочего органа от коэффициента масс молотка и материала (для геометрических и технических параметров реверсивной молотковой дробилки ДМРиЭ 14,5×13 [6]).

Масса материала, вступающего в контактное взаимодействие с молотками в рабочей зоне колосниковой решётки, определяется из условий, что весь ряд молот-

ков на роторе контактирует с тем количеством измельчаемого сырья, которое соударяется с этим рядом на этапе загрузки в рабочую зону питателем, и весь массив материала распределён между всеми рабочими органами равномерно [5]:

$$m_q = \frac{60M_{q.c.}}{nz}, \quad (16)$$

где $M_{q.c.}$ — масса материала, загружаемого питателем в рабочее пространство дробилки за одну секунду; n — количество оборотов ротора в минуту; z — количество ударных элементов на роторе.

Для проверки и сопоставления результатов, полученных с использованием аналитической зависимости (14), с помощью инженерного математического программного обеспечения MathCAD получено численное решение линейного неоднородного дифференциального уравнения второго порядка (6) при решении задачи Коши методом Рунге – Кутты с начальными условиями (12) (рис. 3) для коэффициентов масс ударного рабочего органа и измельчаемого материала k_m : для 18,7 — график $\gamma_1(t)$, для 13,1 — $\gamma_2(t)$, для 9,5 — $\gamma_3(t)$.

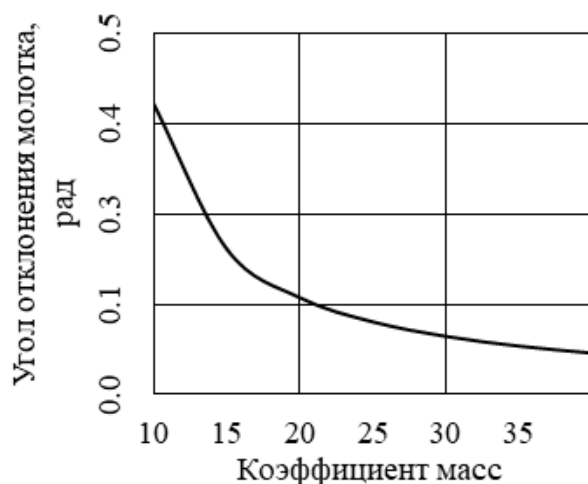


Рисунок 2 График зависимости угла отклонения рабочих органов дробилки в зоне колосниковой решётки от коэффициентов масс материала и молотков

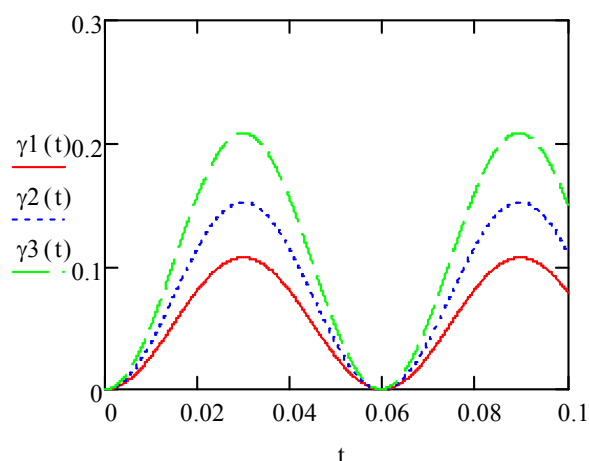


Рисунок 3 График зависимостей амплитуд колебаний молотка от времени при численном решении дифференциального уравнения движения в среде MathCAD

Как видно из сопоставительного анализа графических зависимостей на рисунках 2 и 3, результаты определения угла отклонения молотка по уравнению (15) соответствуют значениям максимальных амплитуд его колебаний (угла отклонения) относительно радиального положения при численном решении дифференциального уравнения движения ударного элемента относительно оси подвеса на роторе в среде MathCAD.

В зависимости от угла отклонения молотка увеличивается расстояние между его внешней гранью и рабочей поверхностью колосниковой решётки (рис. 1), которое находится из треугольников OLO' и $O'LC'$. На рисунке 4 отображена зависимость величины расстояния между внешней гранью молотка и поверхностью колосниковой решётки (колосникового зазора), определяемого по соотношению

$$\delta_k = \delta_{раб} + \frac{r}{\cos \gamma} - \frac{R+r}{\cos\left(\frac{r}{R+r}\gamma\right)}, \quad (17)$$

где $\delta_{раб}$ — предопределённый рабочий зазор между внешней рабочей гранью молотка и рабочей поверхностью колосниковой решётки, обеспечивающий устойчи-

вую работу дробилки без ударных контактов молотков о колосники в процессе дробления материала (на практике обычно принимается в пределах 3–5 мм).

Как видно из графических зависимостей, представленных на рисунках 3 и 4, отношение масс молотка и куска материала при дроблении на этапе истирания о колосниковую решётку в молотковой дробилке существенно влияет на такие параметры контактного взаимодействия ударных рабочих органов и материала в районе колосниковой решётки, как угол отклонения молотка и колосниковый зазор. В свою очередь, от этих показателей существенно зависит эффективность процесса дробления материала при истирании о решётку: чем больше зазор между молотками и колосниками, тем большее количество материала между ними будет проскальзывать и выгружаться из рабочей зоны только за счёт инерции, а не воздействия ударных элементов. При этом трение материала по поверхности молотка способствует повышению степени износа его боковой и внешней граней, что будет сказываться на сроке эксплуатации.

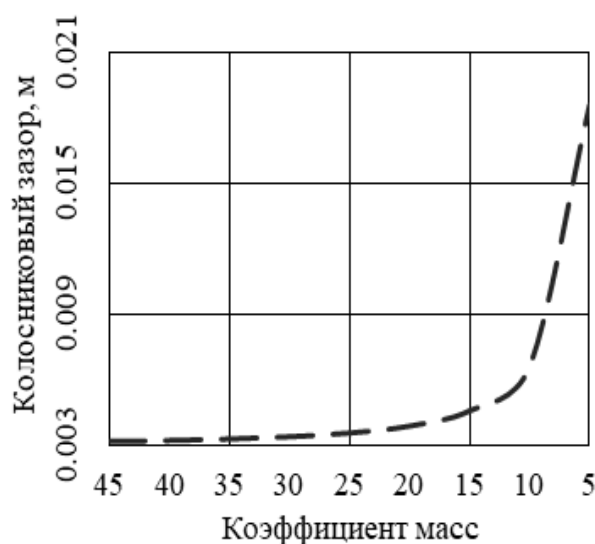


Рисунок 4 График зависимости колосникового зазора δ_k от коэффициента масс k_m

Таким образом, необходимо стремиться минимизировать колосниковый зазор и угол отклонения молотков при контактном взаимодействии с материалом на различных этапах дробления в молотковых дробилках за счёт повышения коэффициента масс ударного органа и сырья, как это может быть реализовано при комбинированном способе установки молотков на оси подвеса ротора [7, 8].

Выводы и направление дальнейших исследований. В ходе исследований были предложены закономерности для определения угла отклонения молотка при взаимодействии с материалом в зоне колосниковой решётки и рабочего зазора между внешней гранью молотка и рабочей поверхностью колосников в зависимости от конструктивных и массовых характеристик молотка и его коэффициента масс и материала.

Выявлено влияние данных параметров на величину рабочего зазора, что, в свою очередь, влияет на эффективность работы самой молотковой дробилки.

Перспективным направлением исследования процесса дробления материалов в ударных дробилках с колосниковыми решётками является математическое описание процесса разрушения материалов под воздействием молотков в зоне колосниковой решётки с использованием полученных в данной работе результатов моделирования динамики рабочих органов и экспериментальное подтверждение выдвинутых предположений, а также изучение влияния коэффициента масс на технологические параметры молотковой дробилки в производственных условиях. В дальнейшем результаты исследования могут использоваться в качестве теоретической базы при разработке и обосновании математической модели, предназначенной для определения основных технико-эксплуатационных характеристик процесса дробления в молотковой дробилке, таких как степень дробления материала и интенсивность изнашивания молотков и колосниковой решётки.

Библіографічний список

1. Власенко, Д. А. Математическое моделирование процесса изнашивания молотков при дроблении материала свободным ударом [Текст] / Д. А. Власенко, Э. П. Левченко, Г. А. Билан // Вестник ДонНТУ. — Донецк : ДонНТУ, 2019. — № 1 (15). — С. 9–15.
2. Жильцов, А. П. Исследование и обоснование конструктивно-технологических параметров процесса измельчения агломерационных флюсов в молотковой дробилке [Текст] / А. П. Жильцов, Д. А. Власенко, Э. П. Левченко // Чёрные металлы. — М. : Руда и металлы, 2019. — № 10 (1054). — С. 4–10.
3. Медведев, Б. В. Начала теоретической физики. Механика, теория поля, элементы квантовой механики [Текст] / Б. В. Медведев. — М. : Физматлит, 2007. — 38 с.
4. Курс теоретической механики [Текст]. Т. 1 / под ред. К. С. Колесникова. — М. : изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 735 с.
5. Власенко, Д. А. Обоснование конструктивно-технологических параметров процесса дробления материалов в молотковых дробилках [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Власенко Дмитрий Алексеевич. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — 23 с.
6. ГОСТ 12376–71 Дробилки однороторные среднего и мелкого дробления. Технические условия [Текст]. — Введ. 01–01–1973. — Измен. 01–01–1990. — М. : Изд-во стандартов, 1990. — 22 с.
7. Пат. 179695 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/16 (2006.01). Ротор молотковой дробилки / Д. А. Власенко, А. В. Карпов; заявитель и патентообладатель Липецкий гос. техн. ун-т. — № 2018106733; заявл. 22.02.18; опубл. 22.05.18, Бюл. № 15. — 3 с. : ил.
8. Пат. 189059 Российская Федерация, МПК В 02 С 13/16 (2006.01). Ротор молотковой дробилки / Д. А. Власенко, А. П. Жильцов, Э. П. Левченко; заявитель и патентообладатель Липецкий гос. техн. ун-т. — № 2018143765; заявл. 10.12.18; опубл. 07.05.19, Бюл. № 13. — 3 с. : ил.

© Власенко Д. А.

© Левченко Э. П.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,
к.т.н., доц., зав. каф. МППЖ ЛНАУ Фесенко А. В.

Статья поступила в редакцию 25.11.19.

Власенко Д. О., к.т.н. Левченко Е. П. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ МОЛОТКА З МАТЕРІАЛОМ І КОЛОСНИКОВОЮ РЕШІТКОЮ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

На підставі другого закону Ньютона розроблено математичну модель руху молотка і частки матеріалу в процесі їх взаємного контакту з колосниковою решіткою молоткової дробарки. У результаті аналітичних досліджень визначено залежності кута відхилення ударного органу щодо його радіального положення і величини колосникового зазору при контактній взаємодії з робочою поверхнею колосникової решітки в процесі дроблення матеріалів різного фракційного складу в умовах підготовки агломераційної шихти.

Ключові слова: молоткова дробарка, молоток, колосникова решітка, шматок матеріалу, кут відхилення молотка, колосниковий зазор.

Vlasenko D. A., PhD in Engineering Levchenko E. P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

MATHEMATICAL MODELING OF INTERACTION OF HAMMERS WITH MATERIAL IN THE AREA OF FIRE GRATE OF HAMMER CRUSHER

On the basis of Newton's second law, a mathematical model of the motion of hammer and a material particle in the process of their mutual contact with the fire grate in a hammer crusher is developed. As a result of analytical studies the dependence of deflection angle of the impact body relating to its radial position and size of the grate gap in contact with the operating surface of the fire grate in the process of grinding materials of different fractional composition under the conditions of sintering mix preparation.

Key words: hammer crusher, hammer, fire grate, piece of material, angle of deflection of the hammer, grate gap.

ТРЕБОВАНИЯ
к рукописям научных статей в сборник научных трудов
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
Луганской Народной Республики
«Донбасский государственный технический университет»

Научные статьи, предоставляемые в редакцию, должны соответствовать требованиям ВАК МОН ДНР (Приложение 1 к правилам формирования в уведомительном порядке перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (п. 4)) и базовым издательским стандартам по оформлению статей по ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания».

Сборник научных трудов издаётся не менее 7 раз за 2 года. Сборник формирует информационный отдел: 94204, г. Алчевск, пр. Ленина, 16, ДонГТУ; тел./факс: (06442) 2-68-87, e-mail: info@dstu.education (тема: для редакции сборника научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ»); секретарь редакционной коллегии Скомская Светлана Анатольевна.

Сборник содержит следующие разделы: «Науки о земле», «Металлургия и материаловедение», «Машиностроение и машиноведение», «Строительство и архитектура».

Представляемые в статье материалы должны быть актуальными, отвечать новым достижениям науки и техники, иметь практическую значимость, соответствовать направленности сборника и представлять интерес для широкого круга специалистов.

Название статьи должно быть лаконичным и понятным, включать в себя объект и предмет исследований, иметь прямое отношение к области исследований и её результатам.

Обязательные элементы статьи:

- 1) постановка проблемы, обоснование её актуальности;
- 2) анализ последних исследований и публикаций по данной проблеме, вскрытие их недостатков и противоречий;
- 3) выделение не решённых ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья;
- 4) формулирование цели, идеи, объекта и предмета исследований, постановка задач исследований;
- 5) описание и обоснование принятой методики исследований;
- 6) изложение основного материала теоретических и (или) экспериментальных исследований с обоснованием достоверности полученных научных результатов;
- 7) выводы о научной новизне и практической ценности результатов, направление дальнейших исследований.

По решению редколлегии в каждом номере сборника может быть опубликовано не более одной статьи обзорного характера, включающей большую часть рекомендованных выше основных элементов.

Редакция оставляет за собой право отклонять рукописи обзорного и компилятивного характера с нечётко сформулированными научными результатами, новизна и достоверность которых недостаточно обоснованы.

Результаты работы не должны предоставляться в виде тезисов.

Ответственность за нарушение авторских прав, несоблюдение действующих стандартов и недостоверность приведённых в статье данных полностью несут авторы статьи.

Статья должна сопровождаться:

– внутренней и внешней рецензиями (на усмотрение автора, рекомендовано два вида рецензий: рецензия в произвольном изложении; международная форма рецензирования статьи);

– лицензионным договором с автором(и).

Текст статьи предоставляется на электронном носителе и в печатном виде, сопроводительная документация только в печатном виде.

Рекомендуемое количество авторов статьи — до 3-х человек. При необходимости, по решению редколлегии, количество авторов может быть увеличено до 5-ти.

Языки предоставления статей: русский, английский, украинский.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Текст рукописи статьи от 5 до 10 страниц в книжной ориентации на белой бумаге формата А4 (210×297 мм) с полями: верхнее, нижнее — 27 мм; левое, правое — 24 мм. Различать колонтитулы чётных и нечётных страниц: от края до верхнего колонтитула — 2 см; от края до нижнего колонтитула — 2 см. Страницы не нумеруются. Рукопись статьи оформляется с применением редактора **MS Word в формате, полностью совместимом с Word 97–2003**: шрифт — Times New Roman, размер — 12 пт, интервал — одинарный, выравнивание — по ширине, абзацный отступ — 0,5 см.

Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть **активирована**. Весь материал подаётся в чёрно-белом оформлении (без градиентов серого или цветовой палитры).

Не допускается использование списков (маркированных и нумерованных) и элементов «Надпись». **Запрещено использование стилей!**

Оформление статей

Статья подаётся отдельным файлом «*Статья.doc*».

УДК проставляется вверху, выравнивание по левому краю, шрифт полужирный, без абзацного отступа. УДК можно определить самостоятельно с помощью классификатора <https://teacode.com/online/udc>. Проверить корректность расшифровки известного УДК можно здесь — <http://scs.viniti.ru/udc/Default.aspx>.

Через один интервал — учёная степень, фамилия, инициалы, разделённые пробелом. С новой строки в круглых скобках через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора. Шрифт полужирный, курсив, выравнивание по правому краю, без абзацного отступа.

С новой строки — название статьи. Выравнивание по центру, шрифт Arial, полужирный, видоизменение — все прописные, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца — 12 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. **Не допускается** набор всего названия заглавными буквами (Caps Lock).

С новой строки — краткая аннотация на языке публикации: размер шрифта — 11 пт, курсив. В аннотации сжато излагается формулировка задачи, которая решена в статье, и приводятся полученные основные результаты.

После аннотации с новой строки — ключевые слова (6–8 слов на языке статьи), курсивом, размером 11 пт, интервал после абзаца — «Авто». Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

С новой строки — текст статьи в **две колонки** одинаковой ширины, промежуток между колонками — 0,5 см.

Слова «рисунок» и «таблица» при упоминаниях в тексте пишутся полностью (пример: «... на рисунке 2 ...»), а в ссылках в конце предложения — сокращённо в скобках (примеры: «... схема инвертора (рис. 2).», «... получены экспериментальные данные (табл. 4).»).

После текста статьи полужирным шрифтом размером 11 пт располагается заголовок «Библиографический список»: интервал перед абзацем — 12 пт, после абзаца — 8 пт, выравнивание по левому краю.

Библиографический список оформляется согласно ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» размером 11 пт, курсивом и должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу в тексте статьи заключаются в квадратные скобки. Рекомендованное количество ссылок — не более восьми источников с датой их издания не ранее чем 20 лет назад.

Через один интервал — учёная степень, фамилия, инициалы, полное название организации, название статьи, аннотации и ключевые слова на оставшемся языке из двух (русский, украинский), размером шрифта 11 пт.

Учёная степень, фамилия, инициалы оформляются полужирным шрифтом, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. В круглых скобках курсивом через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора.

С новой строки, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю — название статьи заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация курсивом.

С новой строки — ключевые слова курсивом. Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

Оформление аннотаций отдельным файлом

Аннотация и ключевые слова дополнительно подаются на двух языках (русский, украинский) отдельным файлом «*Аннотация.doc*», размером шрифта 11 пт.

Учёная степень, фамилия, инициалы оформляются полужирным шрифтом, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю. В круглых скобках курсивом через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора. С новой строки, без абзацного отступа, выравниванием по левому краю — название статьи заглавными буквами.

С новой строки — краткая аннотация курсивом.

С новой строки — ключевые слова курсивом. Фраза «Ключевые слова:» выделяется полужирным начертанием.

Не допускается внедрение в текст аннотации объектов (формул, рисунков и т. д.).

Оформление рефератов отдельным файлом

Реферат подаётся на двух языках (русский, украинский) отдельным файлом «*Реферат.doc*»: размер шрифта — 11 пт, без абзацного отступа, выравнивание — по левому краю. Функция «Автоматическая расстановка переносов» должна быть **выключена**.

Фамилия, имя, отчество оформляются полужирным шрифтом.

С новой строки — учёная степень, должность.

С новой строки — название подразделения.

С новой строки через запятую — название организации, название города, страны, e-mail автора.

Через интервал повторить данные для каждого автора.

Через интервал — название статьи (полужирным начертанием).

Через интервал — текст реферата. Реферат объёмом от 200 до 300 слов исключительно общепринятой терминологии должен быть структурированным и содержать следующие элементы: цель, методика, результаты, научная новизна, практическая значимость. Фразы «Цель.», «Методика.», «Результаты.», «Научная новизна.», «Практическая значимость.» (на русском языке), «Мета.», «Методика.», «Результати.», «Наукова новизна.», «Практична значущість.» (на украинском языке), «Aim.», «Technique.», «Results.», «Scientific novelty.», «Practical significance.» (на английском языке) размещаются с новой строки и выделяются полужирным начертанием. Реферат не должен повторять название статьи.

Не допускается внедрение в текст реферата объектов (формул, рисунков, и т. д.).

Рисунки

Рисунки вставляются в текст единым объектом и могут быть представлены:

– *растровыми форматами* — gif, tiff, jpg, bmp и им подобными (качество 300 dpi);

– векторными форматами — emf, wmf (графики, диаграммы).

Рисунки, выполненные в программах Corel, CAD, Word и др., переводятся в один из описанных выше форматов, предпочтительно векторный.

Графический материал следует располагать непосредственно после текста, в котором он упоминается впервые, или на следующей странице. Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте и нанесены слева направо, сверху вниз. Перед рисунком интервал 12 пт. Выравнивание по центру, ширина в одну колонку (большие рисунки располагают на ширину страницы вверх или вниз). Рисунки размещают в тексте (не в таблицах), обтекание рисунка — «в тексте». Все рисунки подаются дополнительно отдельными файлами.

Допускается размещение пояснительных данных под иллюстрацией (подрисуночный текст) с выравниванием по центру, без абзацного отступа, размером 10 пт.

Под каждым рисунком (подрисуночным текстом) располагается надпись в формате «Рисунок № Название» с выравниванием по центру без абзацного отступа, интервалом перед и после абзаца — «Авто», размером шрифта 11 пт, с запретом автоматического переноса слов в абзаце. Статья не должна заканчиваться рисунком. Рекомендуются, чтобы площадь, занятая рисунками, составляла не более 25 % общего объема статьи.

Формулы

Абзац, содержащий формулы, должен иметь следующие параметры: выравнивание по левому краю, без абзацного отступа, интервал перед и после абзаца 6 пт, позиции табуляции — 3,93 см по центру (для расположения формулы) и 7,85 см по правому краю (для расположения номера формулы). Формулы целиком (включая размерности) выполняются с помощью редактора формул **Microsoft Equation 3** или **MathType** математическим стилем, обычное начертание шрифта (нормальный), со следующими размерами:

Full (обычный).....	12 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс)	9 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс)	7 pt
Symbol (крупный символ).....	14 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	12 pt
Формат	по центру
Междустрочный интервал	200 %

Недопустимо масштабирование и размещение формул в табличном формате. В одном блоке формулы, попадающем на границу колонок, допускается только одна строка (многострочные формулы разбиваются на блоки). Упоминание элементов формул в тексте статьи также выполняется в редакторе формул.

Таблицы

Все таблицы располагаются после упоминания в тексте и должны иметь нумерационный заголовок и название (размер шрифта 11 пт). Нумерационный заголовок (*Таблица 1*) выравнивается по правому краю над таблицей, курсив, интервал перед абзацем — 12 пт. С новой строки помещают название выравниванием по центру, без абзацного отступа, с запретом автоматического переноса слов в абзаце; интервал после абзаца — 6 пт.

Таблица выравнивается по центру контейнера, в книжной ориентации, шириной в 1 колонку (большие таблицы располагаются на ширину страницы вверх или вниз). Текст в таблице оформляется размером шрифта 11 пт или 12 пт без абзацного отступа. **Не допускается** заливка ячеек таблицы цветом. **Запрещается** располагать таблицу в альбомной ориентации. После таблицы отступается один интервал.

СОДЕРЖАНИЕ**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

<i>Литвинский Г. Г.</i> ШАХТНАЯ ТРУБОБЕТОННАЯ СТОЙКА (СТБ)	5
<i>Полозов Ю. А., Лазебник А. Ю.</i> СПОСОБ ИЗОЛЯЦИИ АВАРИЙНЫХ КОНТРОЛЬНО-СТВОЛОВЫХ СКВАЖИН ПРИ СООРУЖЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕБЛОВ НА КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ	17
<i>Денисенко В. П., Безбородов В. А.</i> ЗОНАЛЬНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ШАХТНЫХ ГАЗОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ГОРНЫХ ОТВОДОВ ЗАКРЫТЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ	24
<i>Кизияров О. Л., Заев В. В., Бизянов Е. Е.</i> ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ	32

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<i>Еронько С. П., Ткачев М. Ю., Пономаренко А. Г.</i> РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НОВОЙ СИСТЕМЫ ВЫГРУЗКИ ШАХТНОЙ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ	43
<i>Куберский С. В.</i> АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ МИКРОЗАВОДОВ В СТРУКТУРЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НАРОДНЫХ РЕСПУБЛИК ДОНБАССА	52
<i>Белов Б. Ф., Бабанин А. Я., Пономаренко А. Г., Абакумов И. А.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ СПЛАВОВ СИЛИКОКАЛЬЦИЯ И МЕХАНИЗМ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ	63

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Псюк В. В., Никишина И. А.</i> УСИЛЕНИЕ И ПРАВКА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТРУБ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ	73
<i>Долголаптев В. М.</i> ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ АЛЧЕВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА	81

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Еронько С. П., Ткачев М. Ю., Ковалева О. А.</i> РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ ДЛЯ РЕЗКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ	89
<i>Харитоненко А. А., Жильцов А. П.</i> АНАЛИЗ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	98
<i>Ульяницкий В. Н., Петров П. А., Орлов А. А.</i> ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НОЖНИЦ НА СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И КАЧЕСТВО РЕЗА ПРОКАТА	105
<i>Спорняк В. Г., Левченко Э. П.</i> НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО МАЛОГАБАРИТНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ	113
<i>Власенко Д. А., Левченко Э. П.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛОТКОВ С МАТЕРИАЛОМ В ЗОНЕ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКИ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ	119

ЗМІСТ**НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ**

<i>Литвинський Г. Г.</i> ШАХТНИЙ ТРУБОБЕТОННИЙ СТОЯК (СТБ)	5
<i>Полозов Ю. А., Лазебнік О. Ю.</i> СПОСІБ ІЗОЛЯЦІЇ АВАРІЙНИХ КОНТРОЛЬНО-СЛОВБУРОВИХ СВЕРДЛОВИН ПРИ СПОРУДЖЕННІ ВЕРТИКАЛЬНИХ СЛОВБУРІВ НА КАЛІЙНИХ РОДОВИЩАХ	17
<i>Денисенко В. П., Безбородов В. О.</i> ЗОНАЛЬНІСТЬ ВИДІЛЕННЯ ШАХТНИХ ГАЗІВ НА ПОВЕРХНЮ ГІРНИЧИХ ВІДВОДІВ ЗАКРИТИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	24
<i>Кізіяров О. Л., Заєв В. В., Бізянов Є. Є.</i> ГЕОМЕХАНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СВЕРДЛОВИННОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК ГЛИБОКИХ ШАХТ	32

МЕТАЛУРГІЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Єронько С. П., Ткачов М. Ю., Пономаренко О. Г.</i> РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НОВОЇ СИСТЕМИ ВИВАНТАЖЕННЯ ШАХТНОЇ ВИПАЛЮВАЛЬНОЇ ПЕЧІ	43
<i>Куберський С. В.</i> АКТУАЛЬНІСТЬ СТВОРЕННЯ МІКРОЗАВОДІВ В СТРУКТУРІ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ НАРОДНИХ РЕСПУБЛІК ДОНБАСУ	52
<i>Белов Б. Ф., Бабанін А. Я., Пономаренко А. Г., Абакумов І. А.</i> КЛАСИФІКАЦІЯ СПЛАВІВ СІЛІКОКАЛЬЦІЮ ТА МЕХАНІЗМ РАФІНУВАННЯ СТАЛІ	63

БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

<i>Псюк В. В., Нікішина І. О.</i> ПОСИЛЕННЯ І ПРАВКА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ТРУБ КВАДРАТНОГО ПЕРЕТИНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗВАРЮВАННЯ	73
<i>Долголаптев В. М.</i> МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ АЛЧЕВСЬКОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ	81

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАШИНОЗНАВСТВО

<i>Єронько С. П., Ткачов М. Ю., Ковальова О. О.</i> РОЗРОБКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ЛЕТУЧИХ НОЖИЦЬ ДЛЯ РІЗАННЯ ТОНКОСТІННИХ ТРУБ	89
<i>Харитоненко А. А., Жильцов О. П.</i> АНАЛІЗ І ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТІВ ОБЛАДНАННЯ В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	98
<i>Ульяницький В. Н., Петров П. О., Орлов А. А.</i> ВПЛИВ СТАНУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ НОЖИЦЬ НА СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ І ЯКІСТЬ РІЗА ПРОКАТУ	105
<i>Спорняк В. Г., Левченко Е. П.</i> НАПРЯМКИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДВОСТУПЕНЕВОГО МАЛОГАБАРИТНОГО УНІВЕРСАЛЬНОГО ПОДРІБНЮВАЧА	113
<i>Власенко Д. О., Левченко Е. П.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ МОЛОТКА З МАТЕРІАЛОМ І КОЛОСНИКОВОЮ РЕШТКОЮ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ	119

CONTENT**GEOSCIENCES**

<i>Litvinsky G. G.</i> MINE PIPE-CONCRETE STRUT (SPC)	5
<i>Polozov Yu. A., Lazebnik A. Yu.</i> METHOD OF ISOLATION THE EMERGENCY PILOT HOLES IN THE CONSTRUCTION OF VERTICAL SHAFTS IN POTASH DEPOSITS	17
<i>Denisenko V. P., Bezborodov V. A.</i> ZONING OF COLLIERY GAS RELEASE TO THE SURFACE OF MINE TAKES OF THE CLOSED COAL MINES	24
<i>Kiziyarov O. L., Zayev V. V., Bizianov E. E.</i> GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF WELL RELIEVING THE PRELIMINARY DEVELOPMENT IN DEEP MINES	32

METALLURGY AND MATERIAL SCIENCES

<i>Eron'ko S. P., Tkachov M. Yu., Ponomarenko A. G.</i> DESIGN ENGINEERING AND ASSESSMENT OF PROCESS LOADS OF THE NEW UNLOADING SYSTEM OF THE ROASTING SHAFT FURNACE	43
<i>Kuberskiy S. V.</i> ACTUALITY OF BUILDING THE MICRO-PLANTS IN THE METALLURGICAL COMPLEX OF THE PEOPLE'S REPUBLICS OF DONBASS	52
<i>Belov B. F., Babanin A. Ya., Ponomarenko A. G., Abakumov I. A.</i> CLASSIFICATION OF SILICOCALCIUM ALLOYS AND MECHANISM OF STEEL REFINING	63

CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

<i>Psiuk V. V., Nikishina I. A.</i> STRENGTHENING AND STRAIGHTENING OF STEEL STRUCTURES MADE OF SQUARE TUBES USING WELDING	73
<i>Dolgolaptev V. M.</i> STRENGTH CHARACTERISTICS OF SOLUTIONS BASED ON BLAST FURNACE SLAG OF ALCHEVSK IRON-AND-STEEL WORKS	81

MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

<i>Eron'ko S. P., Tkachov M. Yu., Kovaleva O. A.</i> DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF HYDRAULIC FLYING SHEARS FOR CUTTING THIN-WALLED PIPES	89
<i>Kharitonenko A. A., Zhiltsov A. P.</i> ANALYZING AND IMPROVEMENT OF METHODS OF MAINTENANCE AND REPAIR OF EQUIPMENT IN METALLURGICAL PRODUCTION	98
<i>Ul'yanitskiy V. N., Petrov P. A., Orlov A. A.</i> INFLUENCE OF STATE OF SHEAR CUTTING TOOL ON THE POWER SETTINGS AND QUALITY OF ROLL STOCK CUTTING	105
<i>Sporniak V. G., Levchenko E. P.</i> DIRECTIONS OF PERSPECTIVE USE OF TWO-STAGE SMALL-SIZED UNIVERSAL CRUSHER	113
<i>Vlasenko D. A., Levchenko E. P.</i> MATHEMATICAL MODELING OF INTERACTION OF HAMMERS WITH MATERIAL IN THE AREA OF FIRE GRATE OF HAMMER CRUSHER	119

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 17 (60) 2019

Засновник:
**Донбаський державний технічний
університет**

*Свідоцтво Міністерства інформації,
друку і масових комунікацій ЛНУ
про державну реєстрацію засобу масової
інформації МІ-СГР ПП 000003
від 05.02.2016*

*Наказом Міністерства освіти і науки Донецької
Народної Республіки від 2 травня 2017 р. № 464
збірник наукових праць включений до Переліку
рецензованих наукових видань, в яких повинні
бути опубліковані основні наукові результати
дисертацій на здобуття наукового ступеня
кандидата наук, на здобуття наукового ступеня
доктора наук, затвердженого наказом
Міністерства освіти і науки Донецької Народної
Республіки від 1 листопада 2016 р. № 1134, згідно
з додатком 1*

*Наказом МОН ЛНУ № 911-ОД від 10.10.2018
збірник наукових праць ДонДТУ внесений до
Переліку рецензованих наукових видань, в яких
повинні бути опубліковані основні наукові
результати дисертацій на здобуття наукового
ступеня кандидата наук, на здобуття наукового
ступеня доктора наук, затверджений наказом
Міністерства освіти і науки Луганської Народної
Республіки від 15 травня 2018 р. № 477-ОД*

*Рекомендовано вченою радою
ДООЗ ВПО ЛНУ «ДонДТУ»
(Протокол № 5 від 27.12.2019)*

Включений до наукометричної бази даних РІНЦ

Формат 60×84¹/₈
Ум. друк. арк. 16,5
Зам. № 312
Наклад 100 пр.

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

Адреса редакції, видавця
та виготовлювача:
ДООЗ ВПО ЛНУ
«Донбаський державний технічний університет»
пр. Леніна, 16, м. Алчевськ, ЛНУ, 94204.
E-mail: info@dstu.edu
Web-site: <http://www.dstu.edu>

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., ректор

Заступник головного редактора

Куберський С. В. — к.т.н., проф.

Редакційна колегія:

Литвинський Г. Г. — д.т.н., проф.

Фінкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнєєв С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. О. — к.т.н., доц.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницький В. Н. — к.т.н., проф.

Зелінський А. М. — к.т.н., проф.

Должиков В. В. — к.т.н., доц.

Денищенко П. М. — к.т.н., доц.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Шолух М. В. — д. арх., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н., доц.

Псюк В. В. — к.т.н., доц.

Скомська С. А. — секретар редакційної колегії

Для наукових співробітників, аспірантів,
студентів вищих навчальних закладів.

Мова видання:

російська, українська та англійська

Комп'ютерна верстка і коректура
Ісмаїлова Л. М.

© ДООЗ ВПО ЛНУ «ДонДТУ», 2019
© Чернишова Н. В., художнє
оформлення обкладинки, 2019

**UDC 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 17 (60) 2019

**Establisher:
Donbass State Technical University**

*Certificate of the Ministry of Information,
Press and Mass Communication of the LPR
for mass media registration
MI-SGR PI 000003
dated 05.02.2016*

*By order of the Department of Education and Science
of the Donetsk People's Republic of 2 May 2017
№ 464 the Collection of scientific papers is being
offered in the list of peer-reviewed scientific editions
with required publications of the main scientific PhD
and Doctor's thesis results, approved by an order of
the Department of Education and Science of
the Donetsk People's Republic of 1 November 2016
№ 1134, according to annex 1*

*By order of the Department of Education and Science
of the Lugansk People's Republic № 911-OD
of 10.10.2018 the Collection of scientific papers of
DonSTU is being offered in the list of peer-reviewed
scientific editions with required publications of the
main scientific PhD and Doctor's thesis results,
approved by an order of the Department of Education
and Science of the Lugansk People's Republic
of 15 May 2018 № 477-OD*

*Recommended by academic council
of SEI HPE "DonSTU"
(Record № 5 dated 27.12.2019)*

Added to scientometrical database of RSCI

Format 60×84½
Conventional printed sheet 16,5
Order № 312
Circulation 100 copies
Publishing office is not responsible for material
content giving by author for publishing
Address of editorial office, publishing and
establishing: Donbass State Technical University
Lenin avenue, 16, Alchevsk, LPR
94204
e-mail: info@dstu.education
web-site: <http://www.dstu.education>

**PUBLISHING AND PRINTING
CENTER**
room 2113, tel/fax 2-58-59
Certificate of State registration for mass media
publisher, owner and distributor
MI-SGR ID 0000055 dated 05.02.2016

Editor-in-chief

Zinchenko A. M. — PhD in Economics, Rector

Deputy Editor-in-chief

Kuberskyi S. V. — PhD in Engineering, Prof.

Editorial board:

Litvinskiy G. G. — Doctor of Tech. Sc., Prof.

Finkelstein Z. L. — Doctor of Tech. Sc., Prof.

Korneev S. V. — Doctor of Tech. Sc., Prof.

Leonov A. A. — PhD in Engineering, Asst. Prof.

Kharlamov Yu. A. — Doctor of Tech. Sc., Prof.

Ul'ianitskiy V. N. — PhD in Engineering, Prof.

Zelinskiy A. N. — PhD in Engineering, Prof.

Dolzhikov V. V. — PhD in Engineering, Asst. Prof.

Denischenko P. N. — PhD in Engineering, Asst. Prof.

Drozd G. Ya. — Doctor of Tech. Sc., Prof.

Sholukh N. V. — Doctor of Arch., Prof.

Bondarchuk V. V. — PhD in Engineering, Asst. Prof.

Psiuk V. V. — PhD in Engineering, Asst. Prof.

Skomskaya S. A. — secretary to the editorial board

For research scientists, PhD seekers, students of
higher educational institutions.

Issue language:

Russian, Ukrainian, English

Computer layout and proofreading

Ismailova L. M.

© SEI HPE "DonSTU", 2019
© Chernyshova N. V., graphic cover
design, 2019