

ДОНБАССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Выпуск 16 (59) 2019



СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**Сборник
научных трудов
Донбасского государственного технического
университета**

Сборник
Выходит 1–4 раза в год
Основан в июне 1999 г.
Выпуск 16 (59) 2019

**Збірник наукових праць
Донбаського державного технічного університету**

Збірник
Виходить 1–4 рази на рік
Заснований у червні 1999 р.
Випуск 16 (59) 2019

Collection of Scientific Papers of DonSTU

Collection
Publishing 1–4 times a year
Founded in June 1999
Issue 16 (59) 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 16 (59) 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 № 4 от 29.11.2019)*

Включён в наукометрическую базу данных РИНЦ

Формат 60×84½
Усл. печат. л. 14,3
Заказ № 310
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 622.28.043.23

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

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПОРНО-ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ

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

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

Актуальность, цель и задачи исследований. Одной из актуальных проблем угольной отрасли является поддержание подготовительных выработок при интенсивном проявлении горного давления. На данный момент параметры крепи (сечение выработки, сопротивление в податливом режиме, тип спецпрофиля, плотность установки рам, число узлов и конструктивная податливость) назначаются на стадии проектирования выработки, а корректировать их в процессе её эксплуатации невозможно. Поэтому при изменении геомеханической ситуации крепь деформируется, а выработку приходится ремонтировать.

Для ликвидации отмеченных недостатков в ДонГТУ предложена конструкция распорно-податливой крепи [1, 2]. Данная крепь оснащена распорно-податливыми узлами, которые позволяют изменять параметры крепи при эксплуатации выработки. В состав узлов входят регулировочные вкладыши, которые увеличивают сопротивление крепи в податливом режиме и деформируются вследствие потери устойчивости. Вкладыши одним концом устанавливаются в зазор между днищами профилей несущих элементов соединительного узла и опираются на торец стойки, а другим входят в зазор между фигурной планкой съёмного упора и профилем верхняка и торцом опираются на планку.

Для реализации распорного режима работы на верхняк и стойку крепи с помо-

щью быстроразъёмных эксцентриковых захватов навешивают шток и корпус силового гидроцилиндра, который снимается после распора арки. Режим работы крепи регулируется за счёт изменения формы, длины и момента сопротивления вкладышей в узлах податливости.

Цель работы состоит в обосновании параметров распорно-податливой крепи путём лабораторных испытаний натурных образцов узлов податливости с регулировочными вкладышами.

Идея работы заключается в регулировании параметров рамной крепи за счёт замены деформированных вкладышей, устанавливаемых в узлах податливости, и учёте их влияния на величину сопротивления замковых соединений ЗПП и ЗПК в податливом режиме работы крепи.

Объект исследований — узел податливости рамной крепи из спецпрофиля с вкладышами различной формы.

Предмет исследований — рабочее сопротивление замковых соединений ЗПП и ЗПК с вкладышами в податливом режиме.

Задачи исследований заключаются в проведении экспериментальных испытаний узлов податливости с вкладышами, установлении закономерностей их деформирования под нагрузкой и разработке математической модели для определения сопротивления соединения элементов распорно-податливой крепи из спецпрофиля в рабочем режиме.

Методика проведения лабораторных испытаний узлов податливости. Исследование несущей способности узлов податливости с вкладышами проводилось в лабораторных условиях на прессе ИПС-500, который обеспечивает усилие нагружения до 500 т. При нагружении образцов узлов податливости отсчёты брались по шкале с пределом измерения от 0 до 100 т и ценой делений 0,2 т. Погрешность измерения не превышала 1 % от величины нагрузки (согласно данным тарировки пресса). Измерение перемещений в узлах податливости и прогиба вкладыша производилось прогибомерами 6ПАО.

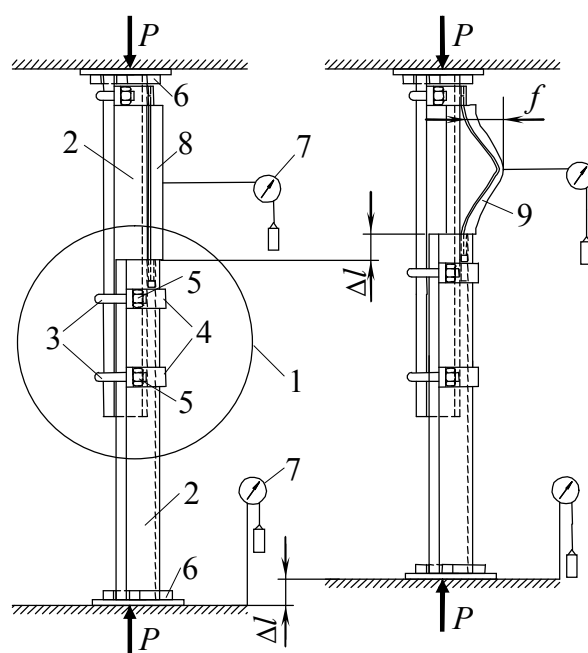
Для проведения испытаний использовался специальный профиль трёх типоразмеров: СВП-22, СВП-27 и СВП-33. Образцы узлов податливости изготавливали из прямолинейных отрезков профилей длиной 1000 мм, которые соединяли с нахлесткой 400 мм крепёжными деталями узлов податливости двух видов: с прямой планкой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

Схема устройства для проведения испытаний узлов податливости представлена на рисунке 1. Сущность метода исследований заключалась в измерении величины продольных перемещений Δl в нахлестке отрезков спецпрофиля, а также прогибов f регулировочного вкладыша различной формы и длины в зависимости от нагрузки P , передаваемой прессом при заданных усилиях затяжки скоб.

Перед испытанием отрезки спецпрофилей соединяли между собой с помощью деталей испытываемого узла податливости, устанавливали регулировочные вкладыши различной длины и формы (в виде прямо-

угольника, сваренного из отдельных полос, тавра из двух прокатных уголков и швеллера) и затягивали гайки с требуемым крутящим моментом. Собранный образец узла податливости устанавливали вертикально между опорными плитами пресса. Для надёжной и безопасной фиксации образцов на верхний и нижний торцы профилей надевали съёмные опорные башмаки. Нагрузку на образцы прикладывали плавно и фиксировали по заданным перемещениям в узлах податливости с интервалом 1 мм.

Закономерности деформирования узлов податливости с регулировочными вкладышами прямоугольной формы. Исследования процесса деформирования узлов с вкладышами проводились, прежде всего, с целью обоснования рациональной формы поперечного сечения вкладышей и установления зависимости сопротивления усиленного узла податливости от влияющих факторов.



1 — узел податливости; 2 — отрезок спецпрофиля; 3 — скоба; 4 — планка; 5 — гайка; 6 — опорный башмак; 7 — прогибомер; 8 — вкладыш; 9 — деформированный вкладыш

Рисунок 1 Схема испытания узлов податливости на прессе

Вначале испытывали вкладыши с поперечным сечением в форме составного прямоугольника, сваренного из двух (50×8 мм) или четырёх (50×16 мм) полос толщиной 4 мм каждая. Вкладыши устанавливали в узлы податливости ЗПК, а испытания проводили по схеме, представленной на рисунке 1.

Эксперименты выполнены для трёх типов спецпрофилей (СВП-22, СВП-27 и СВП-33) при усилии затяжки гаек 100 Н·м. Факторами, с помощью которых регулировали сопротивление вкладыша, приняты его длина, причём ей придавали два значения (25 и 50 см), и толщина, равная 8 и 16 мм и

используемая для вариации площадью поперечного сечения вкладыша (4 и 8 см^2). Геометрические параметры вкладышей выбраны исходя из параметров зазора между сопрягаемыми в нахлестке спецпрофилями.

Результаты исследований для СВП-22 представлены на рисунке 2 в виде зависимостей нагрузки P от перемещения Δl профилей в нахлестке при различной длине и толщине прямоугольной пластины. На рисунке для наглядности зависимости для узла податливости с вкладышами сопоставлены с аналогичной зависимостью деформирования узла податливости без вкладыша.

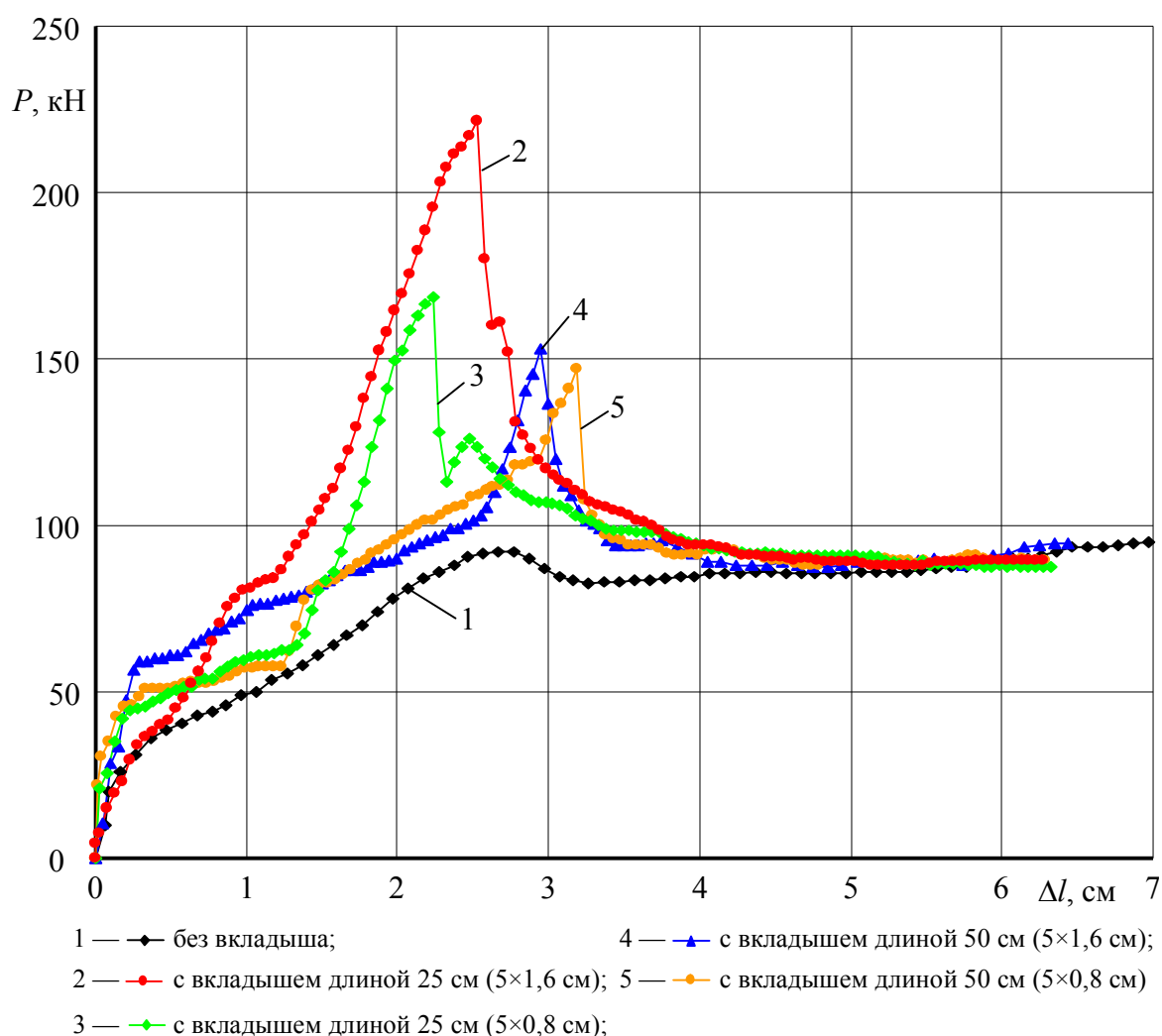


Рисунок 2 Диаграммы деформирования узла податливости ЗПК для СВП-22 при усилии затяжки гаек 100 Н·м без вкладыша и с вкладышем в виде прямоугольной пластины различной длины и толщины

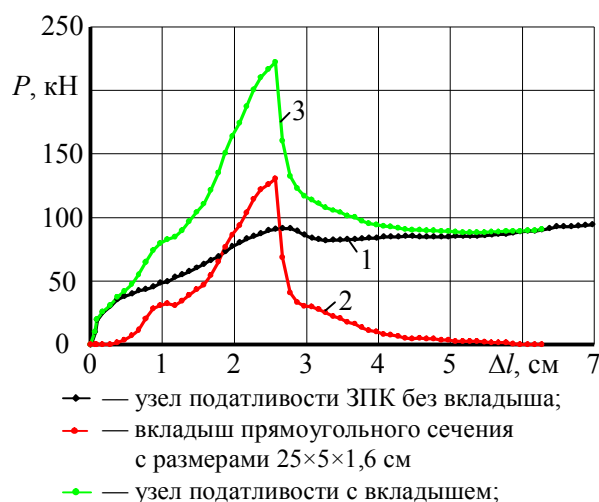


Рисунок 3 Диаграммы деформирования узла податливости с замком ЗПК для СВП-22 (1), вкладыша (2) и узла податливости, усиленного тем же вкладышем (3)

В результате анализа зависимостей установлено, что узел податливости с замком ЗПК и вкладыш работают совместно в единой системе, нагруженной от плит пресса заданной нагрузкой, которая определяется суммированием сопротивлений узла и вкладыша. Принцип суммирования их сопротивлений демонстрируется на рисунке 3.

Узел податливости с замком ЗПК представлен диаграммой, которая имеет два характерных участка: восходящий, характеризующий работу узла до проскальзывания профилей, и горизонтальный, который описывает работу узла в рабочем режиме во время проскальзывания профилей. Характеристика вкладыша, полученная путём вычитания из сопротивления узла податливости, усиленного вкладышем прямоугольного поперечного сечения с размерами $25 \times 5 \times 1,6$ см, сопротивления того же узла податливости без вкладыша при одних и тех же перемещениях, имеет совершенно иную форму. Вначале она имеет вогнутую кривую, что характеризует постепенную ликвидацию зазоров в опорах вкладыша. Далее следует участок, описывающий упругую работу вкладыша до потери его устойчивости, который имеет большую крутизну, чем восходящий уча-

сток диаграммы узла податливости. Потеря устойчивости вкладыша реализуется при нагрузке, которая для данного примера превышает сопротивление узла в податливом режиме работы. Следует заметить, что вкладыш таких размеров начинает деформироваться в момент начала работы узла в податливом режиме. Вслед за потерей устойчивости вкладыша прямоугольного поперечного сечения происходит резкое падение его сопротивления, и уже через 2 см перемещения профилей в нахлестке вкладыш практически не влияет на совместное сопротивление усиленного узла податливости.

Подобным образом деформируются все испытанные образцы узла ЗПК с профилями СВП-22, СВП-27 и СВП-33, за исключением маленьких нюансов. Так, длинные вкладыши (50 см) с минимальной толщиной (0,8 см) оказывают весьма незначительное воздействие на совместную диаграмму деформирования узла податливости, так как потеря устойчивости вкладыша происходила ещё до выхода на податливый режим работы узла. Только для СВП-22 отмечено повышение нагрузки за счёт установки вкладыша таких размеров.

Максимальное воздействие оказывает короткий вкладыш (25 см) с наибольшей толщиной (1,6 см). В этом случае максимальная нагрузка на узел с вкладышем в 2,0–2,5 раза превышает сопротивление узла в рабочем режиме без вкладыша. Однако быстрое падение сопротивления за 1–2 см перемещения профилей в нахлестке демонстрирует неэффективность применения вкладышей в виде пластины прямоугольного сечения.

Закономерности деформирования узлов податливости с регулировочными вкладышами в виде тавра. Вкладыши в виде тавра из двух прокатных уголков $40 \times 40 \times 4$ мм устанавливали в узлы податливости ЗПП и ЗПК. Лабораторные исследования процесса деформирования вкладышей выполнены для трёх типов спецпрофилей (СВП-22, СВП-27 и СВП-33), причём испы-

тания проведены при усилии затяжки гаек на двух уровнях (100 Н·м и 400 Н·м). В качестве параметра, позволяющего регулировать сопротивление вкладыша, выбрана его длина, которой в ходе эксперимента придавали два экстремальных значения (25 и 50 см). Геометрические параметры сечения вкладыша приняты постоянными (площадь $F=6,08 \text{ см}^2$, радиус инерции $i=1,23 \text{ см}$), выбраны они исходя из удобства примыкания вкладыша к торцу спецпрофилей.

На рисунке 4 представлены в качестве примера результаты экспериментальных исследований сопротивления узлов податливости ЗПП и ЗПК для спецпрофиля СВП-

22. Аналогичные диаграммы деформирования получены для СВП-27 и СВП-33. Анализ диаграмм показал, что в начале процесса деформирования узел податливости с вкладышем работает в жёстком режиме. На этом участке жёсткость узла с вкладышем практически совпадает с жёсткостью узла без вкладыша, но его предельное сопротивление в несколько раз превышает сопротивление узла в податливом режиме. После потери устойчивости вкладыша вследствие продольного изгиба его сопротивление начинает резко падать, причём чем больше его длина, тем жёсткость узла податливости в запредельной области меньше.

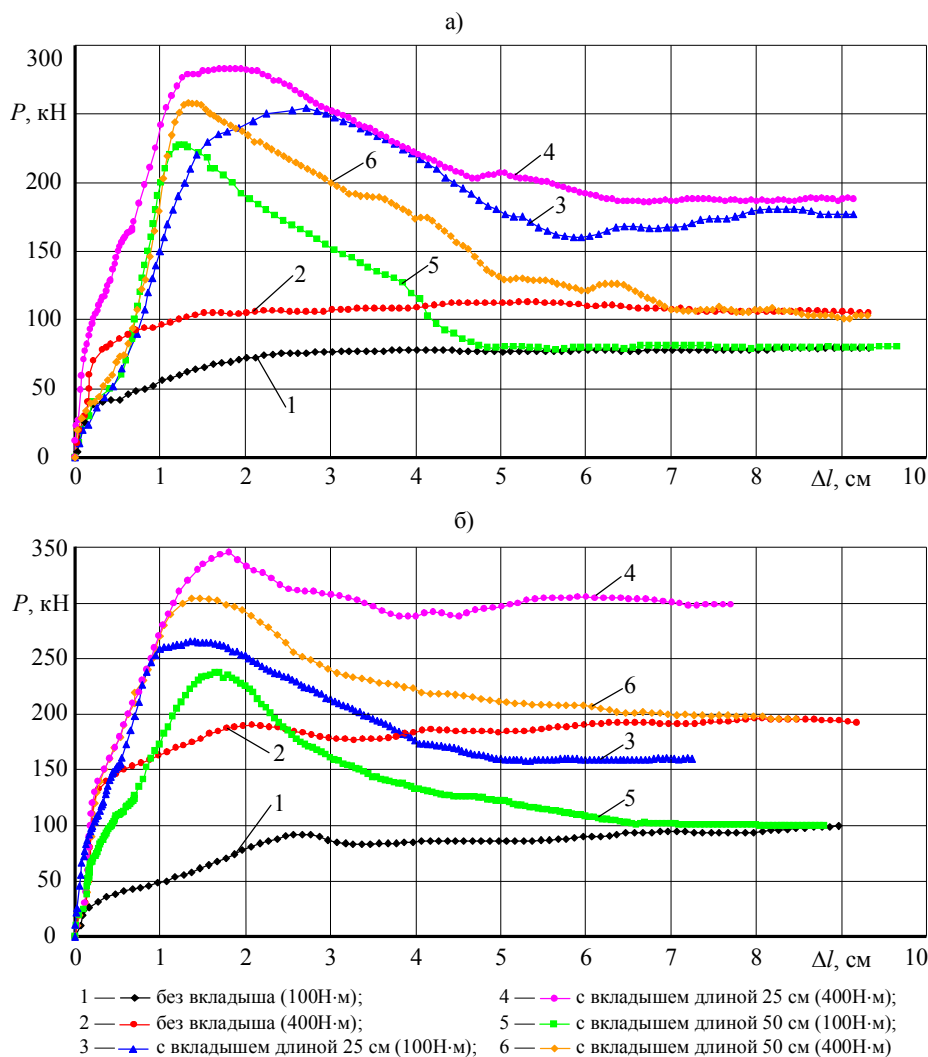


Рисунок 4 Диаграммы деформирования узлов податливости ЗПП (а) и ЗПК (б) для СВП-22 при усилии затяжки гаек 100 Н·м и 400 Н·м без вкладыша и с вкладышем в виде тавра различной длины

Следует отметить, что у узла податливости с длинным вкладышем сопротивление падает почти до несущей способности узла без вкладыша при его работе в податливом режиме, тогда как у узла податливости с коротким вкладышем сопротивление узла в податливом режиме превышает аналогичный показатель у узла без вкладыша. Это объясняется возрастанием доли смятия в работе вкладыша при его деформировании за пределом прочности. Так же как и у обычных узлов податливости, сопротивление узлов с регулировочным вкладышем возрастает с ростом усилия затяжки гаек и момента сопротивления спецпрофиля. Приведённые диаграммы можно аппроксимировать кусочно-линейной зависимостью, представленной на рисунке 5, на которой можно выделить три участка: I — жёсткого деформирования; II — падения сопротивления узла в результате потери устойчивости вкладыша; III — податливого деформирования в рабочем режиме. При этом каждая из отмеченных областей характеризуется своими параметрами.

Первый участок диаграммы представляет собой практически прямолинейный отрезок, наклонённый к горизонтальной оси под углом $\alpha_b = 86-87^\circ$, что всего на один градус меньше угла наклона первого участка диаграмм для узлов податливости без вкладыша. Поэтому средняя жёсткость замков ЗПП и ЗПК ($C_k = 18$ МН/м и $C_k = 21,3$ МН/м) на 10–15 МН/м меньше аналогичного показателя узлов податливости без вкладыша. В пределах этого участка среднее квадратическое отклонение нагрузки для замка ЗПП составляет $\sigma_p = 1,7$ кН и для замка ЗПК — $\sigma_p = 1,0$ кН, а коэффициент вариации соответственно 3,7 % и 4,6 %.

Сверху первый линейный участок ограничивается максимальным сопротивлением узлов податливости, которое зависит в первую очередь от длины вкладыша (L), а также от вида замка (ЗПП или ЗПК), типа СВП (W) и усилия затяжки гаек (M). Для

длинных вкладышей предельный участок диаграмм ограничен малой областью и представляет собой острую вершину, а для коротких вкладышей является более пологим и распространяется в пределах перемещений узла до 1 см. За счёт вкладышей максимальную несущую способность замка ЗПП можно обеспечить в пределах от 227 кН до 324 кН, то есть по сравнению с обычным узлом увеличить в 2,29–3,34 раза, тогда как для замка ЗПК максимальное сопротивление изменяется в диапазоне от 235 кН до 458 кН, что в 1,45–2,95 раза превышает сопротивление замка в рабочем режиме.

На втором участке в результате деформирования вкладышей сопротивление узла податливости снижается с предельной $P_{пр}$ до остаточной $P_{ост}$ величины, которая определяет сопротивление замка в рабочем режиме. Этот участок диаграммы характеризуется углом наклона φ отрезка ломаной прямой к горизонтали, интервалом l_c спада сопротивления и жёсткостью узла податливости C_k , которая, в отличие от первого участка, имеет отрицательный знак, так как по мере роста перемещений сопротивление узла падает.

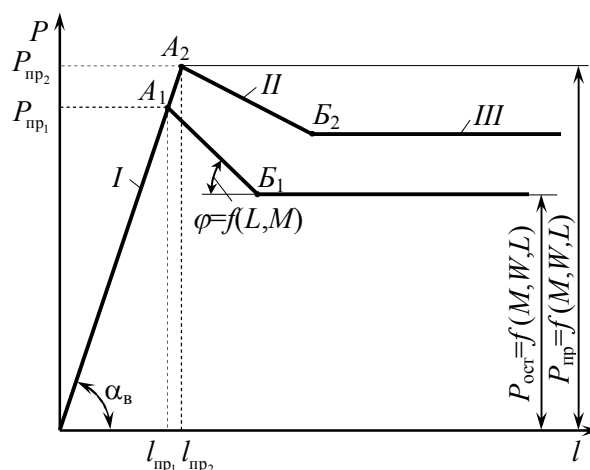


Рисунок 5 Кусочно-линейная зависимость для аппроксимации диаграммы деформирования узла податливости с вкладышем

Угол наклона φ диаграммы связан с интервалом l_c падения сопротивления, причём чем выше угол, тем больше интервал изменения сопротивления и меньше остаточное сопротивление $P_{ост}$, и зависит от длины вкладыша L и усилия затяжки M гаек. При одной и той же длине вкладыша L с ростом крутящего момента M угол φ снижается, причём для коротких вкладышей это падение выражено существенно больше. При постоянной величине затяжки гаек с уменьшением длины вкладыша L угол φ также снижается, причём значимость этого фактора существенно выше, чем для момента M . Для СВП-33, независимо от вида замка, при максимальной затяжке гаек и минимальной длине вкладыша диаграмма выполаживается, то есть второй участок диаграммы практически отсутствует и наблюдается минимальное снижение сопротивления узла податливости с жёсткостью $C_k=0,05$ МН/м для замка ЗПП и $C_k=0,03$ МН/м для замка ЗПК. На этой стадии работы узла стандартное отклонение нагрузки не превышает $\sigma_p=15,8$ кН, а коэффициент вариации — 5,6 %, что свидетельствует о достаточной стабильности работы узла податливости.

После потери устойчивости вкладыша дальнейшее его сопротивление обусловлено в основном смятием материала на площадке текучести. Поэтому в пределах смещений, которые можно было реализовать на прессе, узлы податливости с замками ЗПП и ЗПК деформировались с относительно постоянным сопротивлением, названным остаточным сопротивлением $P_{ост}$ узла податливости с вкладышем, характеризующим третий участок кусочно-линейной диаграммы деформирования.

Наименьшее значение остаточного сопротивления $P_{ост}=80$ кН характерно для СВП-22, замка ЗПП, усилия затяжки гаек 100 Н·м и длины вкладыша 50 см. Наибольшее значение остаточного сопротивления $P_{ост}=456$ кН было отмечено для СВП-33, замка ЗПК, усилия затяжки гаек 400 Н·м и длины вкладыша 25 см. На этом участке диаграммы стандартное отклоне-

ние нагрузки в среднем составляет 6,9 кН для замка ЗПП и 4,7 кН для замка ЗПК, а изменчивость показателя характеризуется коэффициентом вариации 4,1 % для замка ЗПП и 1,9 % для замка ЗПК, что свидетельствует о стабильной работе узлов с вкладышами в виде тавра в податливом режиме. При этом остаточное сопротивление замка ЗПП при коротком вкладыше в среднем в 2,15 раза, а замка ЗПК — в 1,66 раза превышает рабочее сопротивление соответствующих узлов без вкладышей. При длинном вкладыше отношение $P_{ост}$ к сопротивлению узлов податливости без вкладыша P для замка ЗПП в среднем равно 1,06, а для ЗПК — 1,05, то есть вкладыш в виде тавра с $L > 50$ см не вызывает увеличения сопротивления узлов в податливом режиме.

Зависимости для определения сопротивления узлов податливости в рабочем режиме. Испытания узлов податливости с замками ЗПП и ЗПК и вкладышами в виде тавра позволили получить диаграммы деформирования, которые характеризуются тремя основными параметрами, принятыми в качестве выходных величин (функций отклика) при математическом планировании эксперимента [2, 3], а именно: $P_{пр}$ — предельным сопротивлением узла податливости, кН; C_k — жёсткостью узла на запредельной стадии деформирования вкладыша, кН/м; $P_{ост}$ — остаточным сопротивлением узла в податливой стадии работы крепи, кН. Входными (управляющими) факторами в данном случае служили предельный крутящий момент завинчивания гаек M (Н·м), момент сопротивления СВП W (см³) и длина вкладыша L (см).

Уровни и интервалы варьирования факторов для экстремального эксперимента приведены в таблице 1.

Функции отклика находились в виде полинома с учётом линейных членов и взаимовлияния факторов, а преобразование факторов в безразмерный вид осуществлялось с помощью выражений

$$x_1 = \frac{M-250}{150}; \quad x_2 = \frac{W-104}{29}; \quad x_3 = \frac{L-37,5}{12,5}. \quad (1)$$

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

| Наименование фактора и единицы измерения | Обозначение фактора | Уровни | | | Интервал варьирования |
|---|------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------------------|
| | | нижний –1 | верхний +1 | основной 0 | |
| Предельный момент затяжки гаек, Н·м | x_1 | 100 | 400 | 250 | 150 |
| Момент сопротивления СВП, см ³ | x_2 | 75 | 133 | 104 | 29 |
| Длина вкладыша, см | x_3 | 25 | 50 | 37,5 | 12,5 |

Для максимального сопротивления узлов податливости полученные регрессионные зависимости в нормированных переменных имеют следующий вид:

– для замка ЗПП:

$$y = 272 + 14 \cdot x_1 + 18 \cdot x_2 - 15 \cdot x_3; \quad (2)$$

– для замка ЗПК:

$$y = 344 + 57 \cdot x_1 + 41 \cdot x_2 - 16 \cdot x_3 + 8 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (3)$$

Анализ зависимостей для максимального сопротивления узлов податливости с вкладышами в виде тавра показал, что с ростом длины вкладыша предельное усилие, воспринимаемое узлом податливости с вкладышем, снижается практически по линейным зависимостям, о чём свидетельствует отрицательное значение коэффициента регрессии перед x_3 . При этом с ростом усилия затяжки гаек и увеличением сопротивления профиля изгибу параметр $R_{пр}$ возрастает, о чём свидетельствует знак «+» перед факторами x_1 и x_2 в уравнениях регрессии. Следует отметить, что для замка ЗПП все три фактора (x_1 , x_2 и x_3) равнозначны, так как коэффициенты регрессии близки друг к другу. Для замка ЗПК значимость x_1 и x_2 превышает значимость длины вкладыша (x_3) в 2–3 раза. При одних и тех же значениях факторов у замка ЗПК максимальное сопротивление выше, чем у замка ЗПП.

Для жёсткости узла податливости на предельной стадии деформирования вкладыша регрессионные зависимости в нормированных переменных записываются в следующем виде:

– для замка ЗПП:

$$y = 2 - 0,2 \cdot x_1 - x_2 + 0,7 \cdot x_3 + 0,15 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,1 \cdot (x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3); \quad (4)$$

– для замка ЗПК:

$$y = 2 - 0,5 \cdot x_1 - 0,8 \cdot x_2 + 0,7 \cdot x_3 - 0,15 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,35 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (5)$$

Следует отметить, что параметр C_k характеризует изменение сопротивления узла в запредельной области, то есть крутизну наклона прямой, и является, по сути, тангенсом угла наклона ломаной прямой на втором участке диаграммы деформирования. Чем выше его значение, тем круче диаграмма деформирования, то есть сопротивление падает быстрее. Если $C_k = 0$, то узел податливости с вкладышем деформируется при предельном сопротивлении и его спада не наблюдается.

Для узла податливости с замком ЗПП относительное (на единицу перемещения) сопротивление узла в запредельной области деформирования вкладыша в виде тавра возрастает с увеличением его длины, то есть у длинных вкладышей предельное сопротивление узла падает быстрее. С увеличением момента затяжки гаек параметр C_k возрастает, причём с ростом длины вкладыша диапазон его изменения за счёт момента M сужается. Тогда как у узла податливости с замком ЗПК, наоборот, эффект затяжки гаек снижается при применении коротких вкладышей, так как в этом случае диаграммы выполаживаются, а сопротивление узла объясняется смятием вкладыша.

Для остаточного сопротивления узлов податливости в податливой стадии работы

крепи регрессионные зависимости в нормированных переменных записываются следующим образом:

– для замка ЗПП:

$$y = 171 + 17 \cdot x_1 + 39 \cdot x_2 - 58 \cdot x_3 + 5 \cdot x_1 \cdot x_2 - 21 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (6)$$

– для замка ЗПК:

$$y = 245 + 67 \cdot x_1 + 66 \cdot x_2 - 51 \cdot x_3 + 15 \cdot x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3 - 21 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (7)$$

В уравнениях (6) и (7) фактор x_3 имеет знак минус. Следовательно, с ростом длины вкладыша L сопротивление узлов податливости в рабочей стадии падает. Однако, в отличие от предельного сопротивления, значимость длины вкладыша на остаточное сопротивление существенно выше. При увеличении момента затяжки гаек M со 100 Н·м до 400 Н·м (фактор x_1) сопротивление $P_{\text{ост}}$ возрастает. Таким же образом влияет $P_{\text{ост}}$ и момент сопротивления профиля изгибу W (фактор x_2).

Полученные зависимости достаточно хорошо соответствуют экспериментальным данным и могут быть использованы при определении сопротивления крепи в рабочем режиме в зависимости от усилия затяжки гаек, типа спецпрофиля и длины

вкладыша, а также для построения номограмм.

Выводы. Проведённые испытания узлов податливости ЗПП и ЗПК с вкладышами позволили сделать следующие выводы.

Вкладыши прямоугольной формы поперечного сечения не рационально применять в распорно-податливой крепи, так как их придётся очень часто менять.

Вкладыши, выполненные в виде тавра, состоящего из двух прокатных уголков, сваренных между собой, обеспечивают при работе арки в податливом режиме его деформирование не только вследствие потери устойчивости, но в большей мере в результате смятия торцовых частей.

Диаграммы деформирования для вкладышей в виде тавра имеют протяжённую ниспадающую часть и высокое остаточное сопротивление в рабочем режиме, приближающееся к несущей способности крепи.

Диаграммы для узлов податливости ЗПП и ЗПК с вкладышами в виде тавра аппроксимированы кусочно-линейными зависимостями, а для сопротивления узлов в податливом режиме получены нелинейные интерполяционные модели в виде полинома с учётом взаимовлияния трёх факторов: усилия затяжки гаек, типа спецпрофиля и длины вкладыша.

Библиографический список

1. Пат. 63550 Украина, МПК⁹ E 21 D 11/14. Адаптивне розпiрно-пiддатливе крiплення [Текст] / Г. В. Бабиюк, А. А. Леонов ; заявитель и патентообладатель Донбас. госуд. техн. ун-т. — № u20110376 ; заявл. 25.03.11 ; опубл. 10.10.11, Бюл. № 19. — 5 с.
2. Бабиюк, Г. В. Адаптивна распорно-податливая крепь [Текст] / Г. В. Бабиюк, А. А. Леонов // Форум гірників – 2012 : матеріали міжнародної конференції. — Днепропетровск, 2012. — Том 2. — С. 31–36.
3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М. : Наука, 1976. — 279 с.
4. Володарский, Е. П. Планирование и организация измерительного эксперимента [Текст] / Е. П. Володарский, Б. Н. Малиновский, Ю. М. Туз. — К. : Вища шк., 1987. — 280 с.

© Леонов А. А.

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

Статья поступила в редакцию 11.11.19.

к.т.н. Леонов А. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, leonand@ya.ru)

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПІРНО-ПІДДАТЛИВОГО КРІПЛЕННЯ

Шляхом лабораторних випробувань натурних зразків на пресі ІПС-500 отримано діаграми деформування вузлів піддатливості з регулювальними вкладками. Встановлено експериментальні регресивні моделі для визначення несучої здатності вузлів піддатливості ЗПП і ЗПК з вкладками в залежності від зусилля затягування гайок, типу спецпрофілю і довжини вкладки.

Ключові слова: підготовча виробка, рамне кріплення, вузол піддатливості, регулювальна вкладка, діаграма деформування, робочий опір, несуча здатність.

PhD in Engineering Leonov A. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR, leonand@ya.ru)

LABORATORY RESEARCHES OF THE PARAMETERS OF SPACER-PLIABLE SUPPORT

By laboratory tests of full-scale specimen on the press IPS-500, the deformation curves of yielding joints with adjustment insets were obtained. Experimental regression models were established to determine the bearing capacity of yielding joints of ZPP and ZPK with insets depending on tightening force of the nuts, such as special profile and insets length.

Key words: preparatory excavation, frame support, yielding joints, adjustment inset, deformation curve, working resistance, load bearing capacity.

УДК 622.267.6+622.112.3

к.т.н. Сиидов В. Н.,
д.э.н. Гришко Н. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, vova_sid@mail.ru)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ ОБРУШЕННЫХ ПОРОД

На базе натурных исследований разработана новая методика предрасчёта величин ожидаемых оседаний массива слоистой кровли и степени их уплотнения в выработанном пространстве при выемке пологонаклонных пластов, учитывающая мощность, коэффициент разрыхления и крепость обрушаемых пород подрабатываемого породугольного массива. Выполнена апробация методики в шахтных условиях, которая показала хорошую сходимость прогнозируемых величин с натурными в условиях неслёживаемых пород.

Ключевые слова: угольная шахта, выработанное пространство, кровля, обрушение, высота, уплотнение, прогнозирование, выработка.

Актуальность, цель и задачи исследований. Степень уплотнения первоначально обрушенных (разрушенных) естественным путём пород обнажённого в выработанном пространстве слоистого породугольного массива зависит от доминирующих факторов: коэффициентов крепости и разрыхления пород, компрессионных свойств раздробленной кусковато-блочной породной среды, а также усилия их сжатия, величина которого зависит в основном от глубины разработки и продолжительности процесса сдвижения.

Известно, что с удалением от разрабатываемого пласта вплоть до земной поверхности величина оседания подрабатываемого массива уменьшается, однако общей закономерности её убывания не установлено, если не считать отдельные результаты исследований, основанных на базе обработки статистического материала в ограниченных исходных условиях. По измеренным данным смещений глубинных реперов, заложенных в разведочных скважинах, при отработке угольных пластов в условиях неглубоких шахт Карагандинского бассейна [1], а также статистическим данным сопоставления величин опусканий земной поверхности и выработки с мощностями отрабатываемых на глубине не более 700 м пологих пластов Донбасса [2] опускание

подрабатываемого массива лавами с удалением от пласта убывает согласно зависимости, близкой к экспоненциальной, вида

$$\eta = m \cdot \exp(-k \cdot h), \text{ м}, \quad (1)$$

где m — вынимаемая мощность пласта, м; k — эмпирический коэффициент, совокупно учитывающий исходные условия; h — величина удаления от пласта по нормали к его плоскости, м.

Вид этой зависимости также подтверждается исследованиями на моделях из эквивалентных материалов [3], в которых закономерность затухания деформаций слоёв с удалением от пласта изменяется по убывающей экспоненте

$$\xi_i = \xi_0 \cdot \exp(-c \cdot h / 2x_0), \text{ м}, \quad (2)$$

где ξ_0 — деформация пород на кровле пласта; c — коэффициент, учитывающий механические свойства пород; $2x_0$ — длина лавы.

Степень уплотнения обрушенных в выработанном пространстве пород в основном зависит от их прочности, мощности оседаемой толщи массива и формируемой нагрузки на кусковато-блочную разрыхлённую среду. При этом исходная величина коэффициента разрыхления является определяющим параметром его остаточного значения.

Уплотнение обрушенных пород сопровождается дополнительным разрушением их блоков (кусков), потерей пустотности между ними. В физическом понимании эта пустотность может характеризоваться относительным показателем в виде коэффициента пористости

$$\kappa_{on} = \frac{V_n}{V_c} = \frac{V}{V_c} - 1, \quad (3)$$

где V_n и V_c — объёмы соответственно пор (пустот) и скелета (твёрдого вещества) в рассматриваемом объёме V породной среды (сплошной, связной), деформированной или разрушенной, $V = V_n + V_c$, м³.

По сути, остаточный коэффициент разрыхления пород в техническом понимании характеризует пустотность уплотнённой куско-блочной массы без учёта материнской пористости слагающих её отдельностей. Уплотнённые ранее разрушенные породы представляют блочно-кускогато-сыпучую среду, обладающую совершенно другими физико-механическими свойствами по сравнению с исходными в нетронutom массиве.

Исследования в направлении определения прочностных свойств уплотнённых пород пока не вышли за рамки сложных аналитических описаний, основанных на производном параметре коэффициента внутреннего трения, вероятностных моделей распределения различных по размерам породных кусков и их упаковки, а также склонности их к слёживанию. Все эти исследования дают в общих чертах некоторое представление о существующем механизме взаимодействия отдельностей, но не позволяют обеспечивать хотя бы примерные расчёты неравнокомпонентности поля напряжений, ожидаемых деформаций этой среды и смещений контуров обнажения вокруг размещаемых в ней выработок. В таком случае остаётся рассчитывать на результаты натурных наблюдений по рассматриваемому вопросу в направлении корректировки этих расчётов с учётом коэффициентов их запаса.

Цель исследований заключалась в установлении величины остаточного коэффициента уплотнения обрушенных пород массива кровли под влиянием его сдвижения.

Объект исследования — процесс уплотнения в выработанном пространстве кускогато-блочных отдельностей неслёживаемых пород.

Предмет исследования — остаточный коэффициент уплотнения обрушенных пород.

Задачи исследования:

- обобщить результаты современных достижений по формированию зон уплотнения массива обрушенной кровли в выработанном пространстве;
- обосновать методику прогнозирования величин остаточного коэффициента разрыхления обрушаемых пород слоистой кровли;
- провести апробацию расчётной схемы прогнозирования высоты и степени разрыхления неслёживаемых пород.

Изложение материала и его результаты. Степень уплотнения спонтанно обрушенных пород за счёт уменьшения пространства между передислоцированными отдельностями зависит, прежде всего, от их компрессионных свойств и величины оседания массива кровли. При разрушении и отделении вышележащих слоёв кровли, представленных на схеме (рис. 1), сопровождаемых обрушением пород на границах их контакта, точки v_i (см. рис. 1, а) перемещаются в положение соответствующей точки v'_i (см. рис. 1, б). При завершении процесса сдвижения массива и уплотнения разрыхлённых пород по слоям указанные границы перемещаются в точки v''_i (см. рис. 1, в) на общие величины $\Delta\eta_i$ оседаний соответствующих слоёв массива. Другими словами, v_i , v'_i и v''_i — точки, принадлежащие плоскостям граничных поверхностей смежных породных слоёв, определяющие их положение соответственно в нетронutom, обрушенно-разрушенном и уплотнённом состояниях в пределах зоны полной потери сплошности подрабатываемого массива.

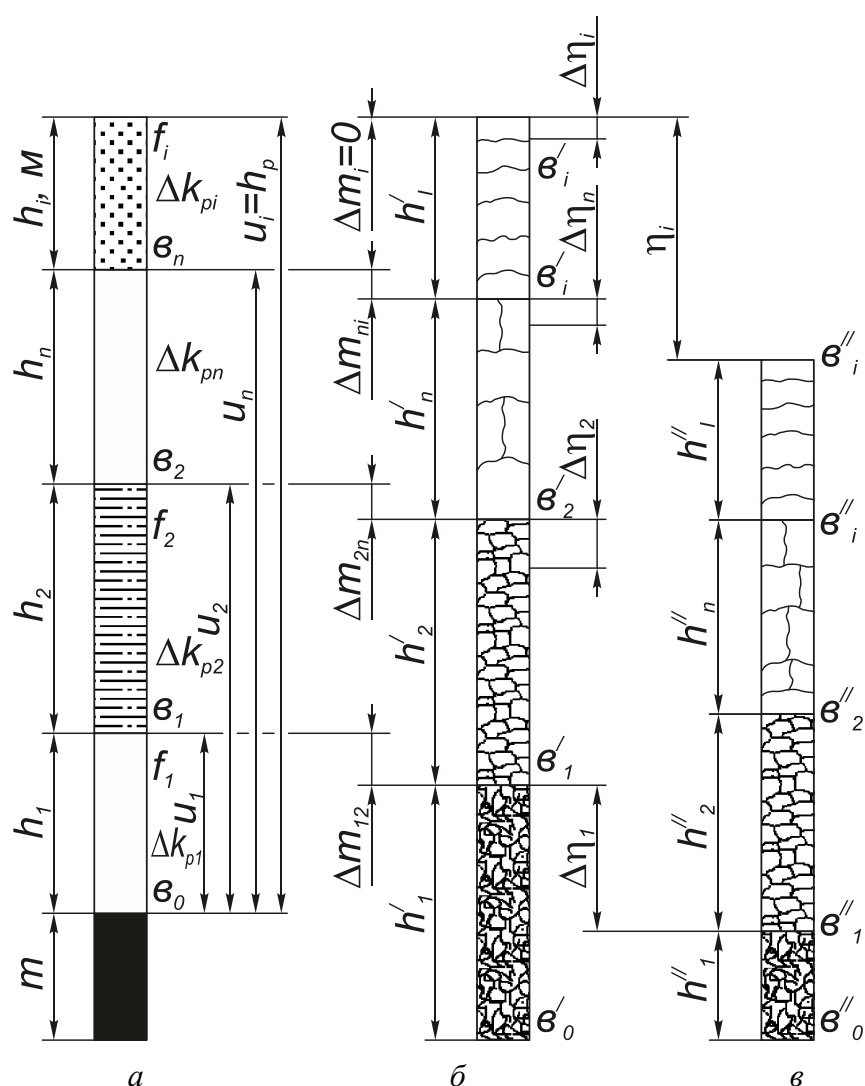


Рисунок 1 Расчётная схема к определению высоты уплотнённых пород обнажаемого лавой слоистого массива кровли: а — исходное состояние пород в нетронутом массиве; б — этап техногенного образования трещин разрыва породных слоёв с последующим их обрушением в выработанном пространстве; в — уплотнённые слои пород

Для определения окончательных величин ожидаемых оседаний η_i массива кровли антрацитовых пологонаклонных пластов мощностью до 1,8 м может быть использована эмпирическая связь [4]

$$\eta_i = p \cdot m_m \cdot \cos \alpha \times \exp \left(-0,0013 \cdot \frac{H}{B} \cdot u_i \cdot \xi_{\sigma} \right), \text{ м}, \quad (4)$$

где p — коэффициент, учитывающий относительную потерю высоты призабойного пространства за счёт поднятия почвы;

α — угол падения пласта мощностью m_m (м), град.; H — глубина разработки, м; B — длина выработанного пространства, м; 0,0013 — поправочный коэффициент; u_i — удаление рассматриваемой плоскости напластования от пласта, м; ξ_{σ} — угловой критерий перепада прочности подрабатываемого массива в пределах зоны его полного сдвижения (в условиях отработки пластов антрацита лавами длиной около 250 м высота зоны полных сдвижений массива в среднем принимает

ся как постоянная величина, равная 200 м, на которую приходится основная доля оседания подрабатываемого массива).

Величина коэффициента p для категорий устойчивости почвы, согласно [5],

$$\xi_{\sigma} = \arctg \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \left[(100k_{\sigma_n})^2 h_n \right]}{\sum_{i=1}^n \left[100k_{\sigma_n} h_n \left(\sum_{i=1}^n h_i - 0,5h_n \right) \right]} \right\}, \text{ рад.}, \quad (5)$$

где h_i — мощность очередного i -го породного слоя, начиная от пласта, м; h_n — мощность последнего слоя в пределах 200-метровой высоты зоны полных сдвижений, м; k_{σ_n} — совокупный показатель прочности пород [6],

$$k_{\sigma_n} = \sqrt{\sigma_{сж}^{\perp} \sigma_p^{\perp} / \sigma_{сж}^{\parallel} \sigma_p^{\parallel}}; \quad (6)$$

$\sigma_{сж}^{\perp}$, σ_p^{\perp} и $\sigma_{сж}^{\parallel}$, σ_p^{\parallel} — пределы прочности пород соответственно на сжатие, растяжение и перпендикулярно, параллельно напластованию в зависимости от процентного содержания в них кремнезёма (SiO_2) от 10 до 90 %;

При неизвестных значениях некоторых указанных пределов прочности пород их можно определить аналитически [7] либо использовать усреднённые величины k_{σ_n} , равные для аргиллитов, алевролитов и песчаников, вмещающих пласты антрацита, в среднем соответственно 0,57, 0,7 и 0,86 [8]. Как показывают результаты проведённых расчётов по формуле (5), с учётом количества угольных пропластков или отработанных пластов в пределах 200-метровой толщи на величину ξ_{σ} они существенного влияния не оказывают.

Длина выработанного пространства в направлении подвигания лавы, за пределами которой оседание подработанной толщи почти прекращается:

$$B = T_{cd} V_{\lambda}, \text{ м}, \quad (7)$$

где V_{λ} — средняя скорость обнажения кровли (подвигания лавы), м/мес.;

весьма неустойчивой (Π_1), малоустойчивой (Π_2) и устойчивой (Π_3) принимается соответственно 0,85, 0,92 и 1,0. Величина углового критерия ξ_{σ} может быть определена по формуле [4]

T_{cd} — продолжительность процесса полного сдвижения массива [9], мес.

Используя зависимость (4) при различных значениях удаления u_i любого породного слоя от пласта, определяется величина его оседания $\Delta\eta_i$, отражающая сжатие соответствующего разрушенного породного слоя. Тогда относительная величина уплотнения i -го слоя составит

$$k_{yi} = \Delta\eta_i / h'_i = \Delta\eta_i / \Delta k_{pi} h_i, \quad (8)$$

где остаточный относительный объём его пустотности

$$\Delta k_{poi} = k_{yi} \Delta k_{pi}. \quad (9)$$

При соответствующих количественных значениях остаточный коэффициент их разрыхления Δk_{pi} после затухания процесса сдвижения подработанного массива:

$$\Delta k_{pyi} = 1 + \Delta k_{poi}. \quad (10)$$

Натурными наблюдениями (рис. 2) за состоянием расположенных в выработанном пространстве выработок [10, 11] подтверждается, что обрушенный и уплотнённый массив сохраняет исходную слоистую структуру кровли с определённым остаточным коэффициентом разрыхления.

Апробация вышерассмотренной методики прогнозирования остаточной относительной пустотности в условиях уклона № 3 пласта h_7 , пройденного в выработанном пространстве лавы № 3 шахты им. Ф. Э. Дзержинского

ГП «Ровенькиантрацит» [11]: мощность вынимаемого пласта — 1,4 м; угол падения пласта — 15°; марка угля — А; глубина разработки — 800 м; длина одиночной лавы — 200 м; скорость подвигания очистного забоя — 36 м/мес.; почва — устойчивая (категория П₃); средняя величина совокупного показателя прочности пород — 0,63.

По данным таблицы 1 с использованием формулы [12]

$$\Delta k_{pi} = 0,64 \cdot \exp(-0,26f_{ni}), \quad (11)$$

где f_{ni} — коэффициент крепости пород по шкале М. М. Протодяконова, определяются величины приращений коэффициентов разрыхления соответствующих пород по слоям: $\Delta k_{p1} = 0,293$, $\Delta k_{p2} = 0,174$, $\Delta k_{p3} = 0,134$ и $\Delta k_{p4} = 0,226$.

Таблица 1

Параметрические характеристики кровли по слоям

| Параметры и единицы их измерений | Количественные и качественные значения параметров | | | |
|----------------------------------|---|-----------|----------|-----------|
| | порядковый номер слоя от пласта | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Мощность слоя, м | 1,8 | 2,0 | 3,8 | 5,0 |
| Тип породы | аргиллит | алевролит | песчаник | алевролит |
| Коэффициент крепости | 3 | 5 | 6 | 4 |

По формулам [12] последовательно вычисляются зазоры между слоями:

$$\Delta m_{12} = m - h_1 \Delta k_{p1}; \quad \Delta m_{23} = m_{12} - h_2 \Delta k_{p2}, \quad (12)$$

$$\Delta m_{34} = m_{23} - h_3 \Delta k_{p3};$$

$$\Delta m_{12} = 1,4 - 1,8 \cdot 0,293 = 0,87 \text{ м};$$

$$\Delta m_{23} = 0,87 - 2,0 \cdot 0,174 = 0,52 \text{ м};$$

$$\Delta m_{34} = 0,52 - 3,8 \cdot 0,134 \approx 0 \text{ м}.$$

В обрушение 4-го слоя кровли попадает только часть его пород, по мощности равная примерно 0,05 м. Тогда высота обрушения составит $h_0 = 1,8 + 2,0 + 3,8 = 7,6$ м.

Продолжительность процесса сдвижения согласно [9] составит $T_{сд} = 9,3$ мес.

Длина выработанного пространства в направлении подвигания лавы (7) составит $B = 9,3 \cdot 36 = 334,8$ м.

Высота обрушения пород $h_0 = 7,6$ м используется как доминирующий исходный параметр для определения оседания η_0 вышележащей толщи, рассчитываемый по формуле (4) при $h = h_0$:

$$\eta_0 = 1,0 \cdot 1,4 \cdot \cos 15^\circ \times \exp\left(-0,0013 \cdot \frac{800}{334,8} \cdot 7,6 \cdot 0,63\right) = 1,33 \text{ м}.$$

Тогда относительная величина уплотнения на 1 м обрушенных пород в пределах h_0 согласно формуле (8) $k_{yi} = 1,33/7,6 = 0,175$.

При этом величины остаточного коэффициента разрыхления пород соответственно по слоям составят:

$$k_{po1} = 1 + 0,293 \cdot 0,175 = 1,051;$$

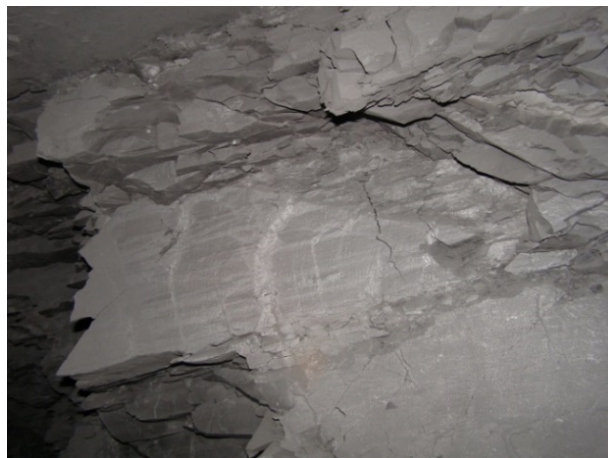
$$k_{po2} = 1 + 0,174 \cdot 0,175 = 1,03;$$

$$k_{po3} = 1 + 0,134 \cdot 0,178 = 1,023.$$

Полученные количественные значения остаточных коэффициентов разрыхления пород соответствуют ранее установленным другими исследователями и натурными наблюдениями.

Поскольку $k_{yi} = 1/k_{pi}$, то коэффициент уплотнения по слоям составит $k_{y1} = 0,95$, $k_{y2} = 0,97$, $k_{y3} = 0,98$. Отсюда следует, что коэффициент уплотнения кровли с удалением от пласта увеличивается. Это подтверждает указанную тенденцию по

результатам проведённых исследований [13], где $\Delta k_{po} = 1,009$ ($k_{yo} = 0,99$).



а



б



в



д



е

Рисунок 2 Фотофрагменты уплотнённых пород выработанного пространства шахт:
а и б — им. Ф. Э. Дзержинского при проведении вентиляционного уклона № 3 по лавам
соответственно № 3 и № 9; в — «Красный партизан» при проведении западного

вентиляционного уклона № 67; ε и δ — им. Я. М. Свердлова соответственно при погашении западного транспортного ходка и проведении бремсберга № 5

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

Величина остаточного коэффициента разрыхления обрушенных пород массива кровли под влиянием его сдвижения уменьшается одновременно с увеличением коэффициента их уплотнения, стремящегося к соответствующей его величине в нетронутом массиве.

Предложенная методика прогнозирования величин остаточного коэффициента уплотнения обрушенных пород рекомендуется к использованию при решении инженерно-технических задач, связанных со смещениями контура выработок, расположенных в выработанном пространстве.

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

Библиографический список

1. Кандлыбаева, Ж. М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве [Текст] / Ж. М. Кандлыбаева. — М. : Недра, 1968. — 108 с.
2. Борzych, А. Ф. Прогнозирование максимальных оседаний пород в пределах подработанной угленосной толщи [Текст] / А. Ф. Борzych, Ю. Л. Желтиков. — Уголь Украины. — 1989. — № 6. — С. 9–10.
3. Петухов, И. М. Исследование защитных пластов для борьбы с горными ударами и внезапными выбросами угля и газа [Текст] / И. М. Петухов. — Л. : Изд. ВНИМИ, 1966. — 196 с.
4. Борzych, А. Ф. Прогнозирование максимальных оседаний пород подрабатываемого угленосного массива [Текст] / А. Ф. Борzych, Г. А. Аверин, О. В. Князьков // Вестник. — Санкт-Петербург : МАНЭБ, 2004. — Т. 9, № 7 (79). — С. 34–38.
5. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35° [Текст] / Руководство КД 12.01.01.503-2001. — К. : Минтопэнерго Украины, 2002. — 141 с.
6. Усаченко, Б. М. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизованных породах [Текст] / Б. М. Усаченко, В. П. Чередниченко, И. Е. Головчанский. — К. : Наукова думка, 1990. — 144 с.
7. Сиидов, В. Н. Установление взаимосвязей основных прочностных и упругих параметров пород в условиях антрацитовых шахт [Текст] / В. Н. Сиидов, О. В. Князьков // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2005. — Вып. 20. — С. 126–131.
8. Борzych, А. Ф. Прогнозирование максимальных оседаний пород подрабатываемого угленосного массива [Текст] / А. Ф. Борzych, Г. А. Аверин, О. В. Князьков // Вестник. — Санкт-Петербург : МАНЭБ, 2004. — Т. 9, № 7 (79). — С. 34–38.
9. Кулибаба, С. Б. Продолжительность процесса сдвижения массива [Текст] / С. Б. Кулибаба, А. Ф. Борzych, В. Н. Сиидов // Уголь Украины. — 2008. — № 4. — С. 11–13.
10. Борzych, А. Ф. Опыт отработки панели в восходящем порядке [Текст] / А. Ф. Борzych, В. Н. Сиидов, С. П. Офицеров // Уголь Украины. — 2008. — № 5. — С. 7–10.
11. Сиидов, В. Н. Влияние ПГД на устойчивость проводимой в выработанном пространстве выработки [Текст] / В. Н. Сиидов, В. Н. Григоряк // Уголь Украины. — 2009. — № 7. — С. 10–12.
12. Борzych, А. Ф. Прогнозирование высоты обрушения слоистого массива кровли в выработанном пространстве при выемке полого-наклонных угольных пластов [Текст] / А. Ф. Борzych, В. Н. Сиидов // Известия вузов. Горный журнал. — 2014. — № 1. — С. 13–20.
13. Калинин, С. И. Геомеханическое обеспечение эффективной выемки мощных пологих пластов с труднообрушаемой кровлей механизированными комплексами [Текст] / С. И. Калинин, В. М. Колмагоров. — Кемерово : Кузбассвуиздат, 2002. — 111 с.

© Сиидов В. Н.

© Гришко Н. В.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,
и.о. гл. инженера филиала «Шахтоуправление „Луганское“»
ГУП ЛНР «Центруголь» Чепурным Д. С.*

Статья поступила в редакцию 11.11.19.

к.т.н. Сідов В. М., д.е.н. Гришко Н. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, vova_sid@mail.ru)

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ УЩІЛЬНЕННЯ ОБВАЛЕНИХ ПОРІД

На базі натурних досліджень розроблено нову методику розрахунку величин очікуваних осідань масиву шаруватої покрівлі та ступеня їх ущільнення у виробленому просторі при вилученні пологопохилих пластів, що враховує потужність, коефіцієнт розпушення та міцність порід, що обвалюються, породувугільного масиву, що підроблюється. Виконано апробацію методики в шахтних умовах, яка показала хорошу збіжність прогнозованих величин з натурними в умовах порід, що не злежуються.

Ключові слова: *вугільна шахта, вироблений простір, покрівля, обвалення, висота, ущільнення, прогнозування, виробка.*

PhD in Engineering Siidov V. N., Doctor of Economics Grishko N. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR, vova_sid@mail.ru)

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR DETERMINING THE DEGREE OF ROCK COMPACTION

On the basis of full-scale studies, a new method for pre-calculating the value of expected subsidence of the stratified roof mass and the degree of their compaction in the mined-out area during excavation of gently sloping layers, considering the power, degree of fragmentation and hardness of rock caving of the undermined rock-coal mass, was developed. The method was tested in mine conditions, which showed good convergence of the predicted values with natural ones in the conditions of non-compacted rocks.

Key words: *coal mine, mined-out area, roof, caving, height, compaction, prediction, working.*

**МЕТАЛЛУРГИЯ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**МЕТАЛУРГІЯ
ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

**METALLURGY
AND MATERIAL SCIENCES**

УДК 621.762.4

д.т.н. Рябичева Л. А.
(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, ryabic@gmail.com),
к.т.н. Коробко Т. Б.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, korobko.tamara@rambler.ru),
Бабич И. Н.
(ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, nev123lg@gmail.com)

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ РКУ-ПРЕССОВАНИИ

Исследовано изменение гидростатического давления, плотности и микроструктуры порошковых пористых заготовок при РКУ-прессовании с различной скоростью деформации. Максимальную плотность порошковой заготовки пористостью 40 % можно получить только за четыре прохода, пористостью 10 % — за один проход. При этом при пористости заготовки 40 % сначала появляется очаг уплотнения, затем с ростом гидростатического давления он трансформируется в очаг деформации. При пористости заготовки 10 % величина гидростатического давления обеспечивает образование очага деформации высокой плотности. Увеличение скорости деформации приводит к увеличению гидростатического давления и достижению большей плотности за меньшее количество проходов.

Ключевые слова: равноканальное угловое прессование, сдвиговая деформация, плотность, микроструктура, величина зерна, скорость деформации.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Эффективными способами производства материалов с заданными свойствами являются различные методы интенсивной пластической деформации, к которым относится равноканальное угловое прессование (РКУП). РКУП позволяет получить высокоплотные порошковые материалы с ультрамелкодисперсной структурой, в результате чего качественно изменяются их свойства [1, 2]. В настоящее время эта проблема решается в рамках производства длинномерных заготовок [3, 4].

Постановка задачи. Известно, что с помощью РКУП пористых заготовок при наличии противодействия можно достичь максимальной плотности при большой величине начальной пористости образца. Очевидно, при больших скоростях деформирования можно получить высокую плотность пористых заготовок и ультрамелкодисперсную структуру. Увеличение числа проходов при РКУП обеспечивает измельчение микроструктуры исходного крупнокристаллического состояния.

Первых четырёх проходов, как правило, достаточно для формирования ультрамелкодисперсной структуры. При дальнейшем увеличении числа проходов происходит совершенствование структуры границ зёрен, растёт доля высокоугловых границ за счёт малоугловых. При этом размер зёрен практически не изменяется. В известных работах исследуется изменение напряжённо-деформированного состояния и структуры при статических скоростях нагружения. В то же время динамическое деформационное поведение порошковых металлических материалов до настоящего времени исследовано в значительно меньшей степени.

В связи с этим **целью** данной работы является исследование влияния условий РКУП на изменение гидростатического давления и плотности порошковой заготовки при различных скоростях деформации.

Объект исследования — равноканальное угловое прессование порошковых материалов.

Предмет исследования — изменение гидростатического давления и плотности при РКУ-прессовании порошковых материалов.

Задачи исследования:

– оценка гидростатического давления по длине заготовки с различной начальной пористостью и различными скоростями деформации;

– оценка изменения плотности по длине заготовки с различной начальной пористостью и различными скоростями деформации;

– анализ микроструктуры порошкового материала после РКУ-прессования.

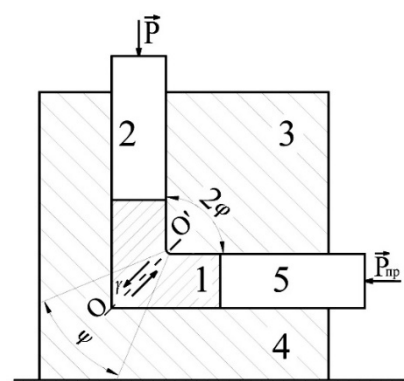
Методика исследования. Анализ РКУ-прессования медной порошковой заготовки призматической формы сечением 15×15 мм, длиной 30 мм, начальной пористостью 40 % и 10 % выполнен методом конечных элементов. Прессование заготовки осуществляется за счёт перемещения пуансона. Для моделирования заготовки применяли упругопластическую модель материала. При моделировании использована модель трения по Кулону. Рассматривали изменение гидростатического давления при двух скоростях деформации 10 с^{-1} и $0,1 \text{ с}^{-1}$ на установившейся стадии течения металла.

Изложение материала и его результаты. При РКУП образец с помощью пуансона проталкивается из рабочего канала пресс-формы в пересекающий его под заданным углом боковой канал такого же сечения. Схема действующих при этом напряжений показана на рисунке 1.

В момент пересечения плоскости соприкосновения входного вертикального и выходного горизонтального каналов $ОО'$ (рис. 1), наклон которой определяется углом φ , деформируемая порошковая пористая заготовка испытывает значительную сдвиговую деформацию [4]:

$$\gamma = 2 \cotg \varphi. \quad (1)$$

При значении $\varphi = 45^\circ$, величина произведённой сдвигом деформации $\gamma = 2$.



1 — заготовка; 2 — пуансон; 3 — верхняя полуматрица; 4 — нижняя полуматрица; 5 — контрпуансон

Рисунок 1 Схема РКУ-прессования

При образовании во внешнем углу матрицы мёртвой зоны с углом ψ величина произведённой деформации будет меньше [5]:

$$\gamma = 2[(\varphi + \psi) + \psi \operatorname{cosec}(\varphi + \psi)]. \quad (2)$$

Для закрытия пор при угловом прессовании необходимо, чтобы величина сдвиговой деформации удовлетворяла условию [5]:

$$\gamma(\theta) = \theta[(\ln \theta - 1)^2 + 1]. \quad (3)$$

При подстановке значений пористости $\theta = 0,4, 0,2$ и $0,1$ в выражение (3) сдвиговая деформация γ составит 1,87, 1,56 и 1,19. Отсюда следует, что условие (2) выполняется даже при максимальном значении $\psi = \pi/4$, когда внешний радиус закругления каналов матрицы равен нулю.

Поскольку величина сдвиговой деформации при РКУП велика, то для сохранения сплошности материала необходимо, чтобы на элементарный объём, находящийся в плоскости сдвига, действовало высокое гидростатическое давление σ^o . Для того чтобы поры не раскрывались, соотношение действующих на их поверхности величин гидростатического давления и сдвиговой прочности материала τ должны удовлетворять условию [4, 6]

$$\frac{\sigma^o}{\tau} = c^2 \theta \frac{(\ln \theta - 1)^2 + 1}{\sqrt{3} \gamma}, \quad (4)$$

где $c=0,25$ для сферических и $c=0,33$ для цилиндрических пор.

На плоскости сдвига $ОО'$, расположенной под углом 45° к направлению течения материала при $\gamma = 2$, это соотношение выполняется практически при любой пористости. Таким образом, в пористом материале при РКУ-прессовании должно происходить полное закрытие пор путём пластического формоизменения при гидростатическом давлении, удовлетворяющем условию (4). Отметим, что при уплотнении чисто гидростатическим давлением для полного закрытия малых пор нужны очень большие давления [3]:

$$\theta = \exp \left(\frac{\sqrt{3}}{c} \cdot \frac{\sigma^o}{\tau} \right). \quad (5)$$

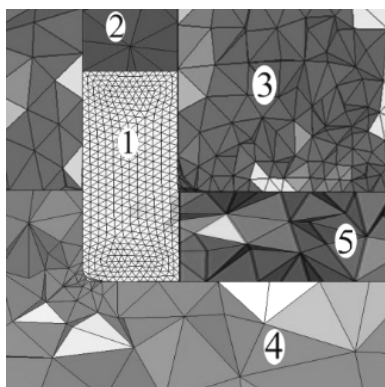
В сырой прессовке частицы связаны между собой только механически [7]. Тогда в зоне пересечения каналов отношение σ^o/τ будет определять прижимающее частицы усилие и силу, стремящуюся их сместить относительно друг друга. Величина этих сил зависит от размеров частиц, ориентации площадки их контакта и скорости деформирования [8]. В свою очередь, формоизменение порошковых материалов по проходам РКУП влечёт увеличение площади их контакта и появление новых ювенильных поверхностей. Между площадями контакта можно ожидать увеличения схватывания, прочность которого определится степенью механоактивации материала, прижимающим усилием и, как показано в работе [6], увеличением скорости деформации. Следовательно, по мере вытягивания частиц при прохождении зоны пластического сдвига скорость деформации должна привести к увеличению плотности прессовок и схватывания частиц. Скорость деформации в очаге уплотнения определяли по методике А. В. Боткина [8].

Анализ РКУ-прессования заготовки (сечение 15×15 мм, длина 30 мм) был выполнен методом конечных элементов при начальной пористости 40 % и 10 %. Конечно-элементная модель РКУ-прессования представлена на рисунке 2,а. Входной и выходной каналы матрицы пересекаются под углом 90° . Внутренний радиус закругления каналов матрицы составляет 1,5 мм, а внешний равен нулю. Модель заготовки представлена сеткой из 40280 элементов с характерным размером элемента 1 мм, содержащей 10070 узловых точек. Характерный размер конечного элемента при разбиении модели инструмента равен 8 мм. При построении сетки в области сопряжения рабочих поверхностей инструмента характерный размер конечного элемента составил половину радиуса закругления. Общее количество конечных элементов модели составило 59200, количество узловых точек — 14800. Противодействие P_{np} принимали равным 130 МПа. Оснастка представлена абсолютно жёсткими телами. Упругие свойства материала: модуль упругости 124000 МПа, коэффициент Пуассона 0,3. Зависимость интенсивности напряжений от интенсивности деформаций построена по результатам испытаний на сжатие пористого тела и представлена таблицей в массиве исходных данных. Величина коэффициента трения составила 0,05. Представлены данные по трём сечениям параллельно горизонтальной оси: на расстоянии 3 мм от нижней поверхности матрицы (сечение 1–1, рис. 2, б), по центру образца (сечение 2–2, рис. 2, б) и на расстоянии 3 мм от верхней поверхности заготовки (сечение 3–3, рис. 2, б).

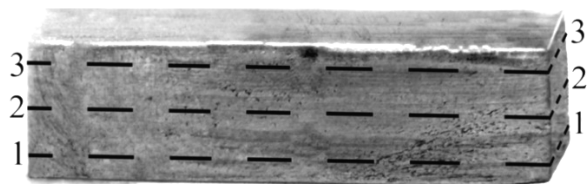
Гидростатическое давление является шаровой компонентой тензора напряжений и характеризует жёсткость схемы напряжённого состояния в исследуемой точке. Если гидростатическое давление больше нуля, то схема считается жёсткой, способной к образованию дефектов при деформировании металла, уменьшая его ресурс пластичности [9]. При всех значениях пористости на установившейся стадии

прессования все материальные точки образца находятся в состоянии гидростатического сжатия, которое обусловлено действующей силой прессования, величиной противодействия и действием сил контактного трения.

При величине пористости 40 % и скорости деформации $0,1 \text{ с}^{-1}$ во всех сечениях образца получены минимальные значения гидростатического давления (рис. 3, а). При таком значении пористости в большей степени развита структурная деформация, направленная на создание очага уплотнения. Наименьшие величины гидростатического давления наблюдаются в сечении 1–1, что объясняется проскальзыванием металла при выходе из входного канала матрицы, превосходящим сдвиговую деформацию, и кратковременным отрывом металла от нижней поверхности матрицы в последний момент установившегося течения.



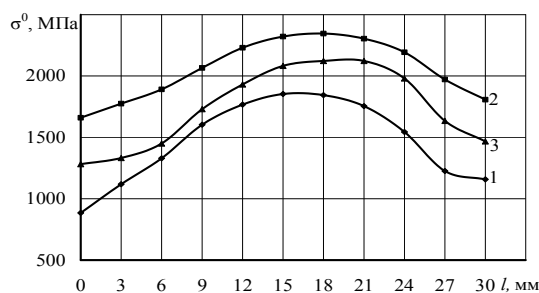
а



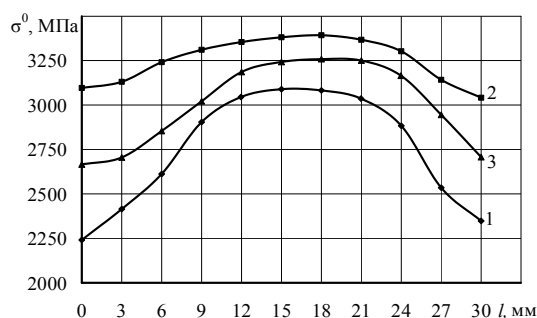
б

1 — заготовка; 2 — пуансон; 3 — верхняя полуматрица; 4 — нижняя полуматрица; 5 — контрпуансон

Рисунок 2 Конечно-элементная модель РКУ-прессования (а) и фото образца с исследуемыми сечениями (б)



а



б

1 — сечение 1–1; 2 — сечение 2–2;
3 — сечение 3–3

Рисунок 3 Изменение гидростатического давления по длине образца при скорости деформации $0,1 \text{ с}^{-1}$ при начальной пористости 40 % (а) и 10 % (б)

В сечении 3–3 величины гидростатического давления больше, что является следствием влияния контактного трения на течение металла. В центральном сечении, проходящем через очаг уплотнения, гидростатическое давление максимально. Следует отметить, что очаг уплотнения имеет незначительный объем и смещён к конечной части образца. Несоответствие максимумов кривых свидетельствует о сложной форме очага уплотнения, который начинается приблизительно в средней части образца и распространяется к выходу из канала с подъёмом концевой части к верхней поверхности матрицы.

С уменьшением пористости до 10 % величина гидростатического давления растёт, но характер кривых не изменяется (рис. 3, б). Однако уменьшается структурная деформация и растёт деформация твёрдой фазы. Можно отметить, что более интенсив-

но формируется очаг деформации. При пористости 10 % величина гидростатического давления наибольшая во всех трёх сечениях образца (рис. 3, б) и, соответственно, наибольшие размеры очага деформации.

Особенностью исследований является существование в основном очаге уплотнения при $\theta_0 = 40\%$, который при более низких значениях начальной пористости трансформируется в очаг деформации.

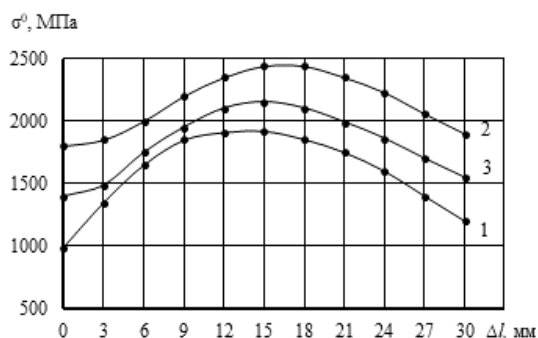
Скорость деформации является одним из важных параметров, определяющих деформационное поведение порошковых материалов. Первые исследования влияния скорости деформации на деформационное поведение чистой меди при уменьшении размера зерна были проведены Р. П. Каррекером-младшим и др. [10].

Показано, что увеличение скорости деформации приводит к росту предела текучести и скоростной чувствительности напряжения течения с уменьшением размера зерна. Однако отметим, что проведённые исследования фокусировались на относительно крупных зёрнах с размером не менее 12 мкм. Показано, что при увеличении скорости деформации растут напряжения, что приводит к достижению плотности при меньших напряжениях и, соответственно, меньших усилиях нагружения.

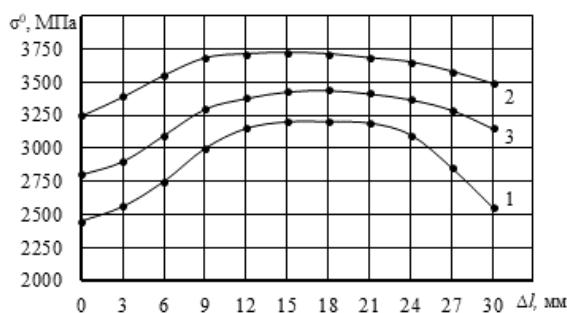
С увеличением скорости деформации до 10 с^{-1} очаг уплотнения трансформируется в очаг деформации уже после первого перехода (рис. 4). Его размер увеличивается, а также увеличивается гидростатическое давление. Наибольшая его величина получена в очаге деформации. Причём при малой начальной пористости 10 % величина гидростатического давления достигает 3750 МПа.

Рост гидростатического давления обеспечивает рост плотности в объёме образца. Эксперименты показали, что максимальная плотность достигается, если начальная пористость заготовки меньше и составляет 10 % при обеих скоростях деформации (рис. 5). При этом распределение плотности при всех начальных значениях пористости зависит от объёма очага уплотнения.

При высоких значениях начальной пористости очаг уплотнения имеет небольшой объём, который трансформируется в очаг деформации с увеличением количества переходов. При пористости 10 % и скорости деформации 10 с^{-1} на первом переходе уже появляется очаг деформации, в котором наблюдается непосредственно деформация частиц порошка, изменение плотности в очаге деформации находится в пределах ошибки.



а



б

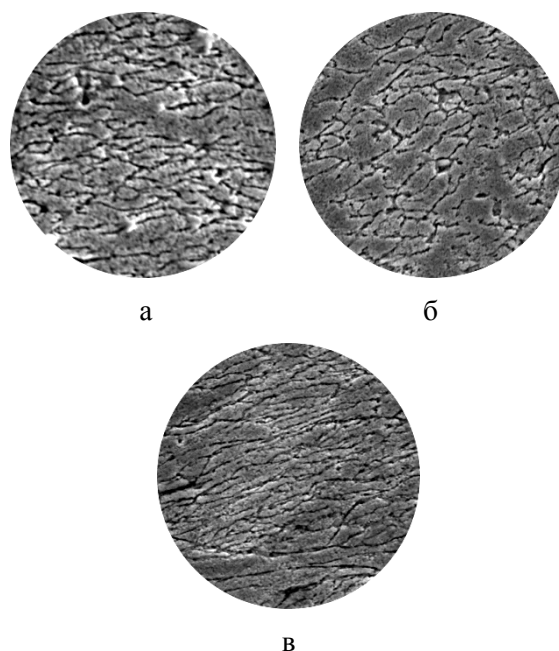
1 — сечение 1-1; 2 — сечение 2-2;
3 — сечение 3-3

Рисунок 4 Изменение гидростатического давления по длине образца при скорости деформации 10 с^{-1} при начальной пористости 40 % (а) и 10 % (б)

Исследования микроструктуры очага уплотнения и деформации показывают, что при начальной пористости 40 % частицы порошка вытягиваются вдоль направления прессования, изменение направления оси частиц не происходит (рис. 6, а). Это указывает на большой объём структурной деформации и мень-

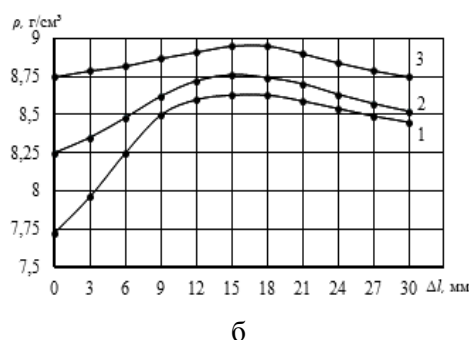
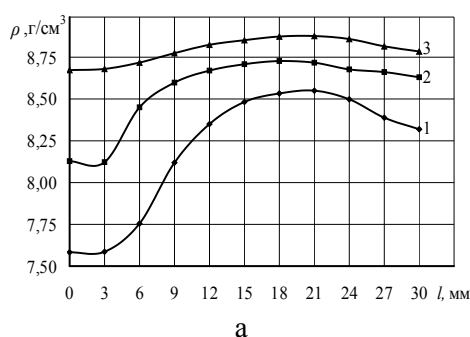
шую деформацию твёрдой фазы. В структуре наблюдается значительная пористость. При начальной пористости 10 % исходные частицы порошка вытягиваются вдоль оси, ориентированной под углом около 30° относительно продольной оси образца (рис. 6, б, в). Такая ориентация и форма частиц указывают, что деформация в очаге была однородной [4, 8].

Границы между частицами широкие и чётко выражены, что указывает на слабую металлическую связь между ними. Очевидно, при всех значениях начальной пористости после прессования плотность получена высокая, однако прочность материала недостаточна. Действительно, предел прочности на сжатие составил 225 МПа и 380 МПа при начальной пористости 40 % и 10 % соответственно. Только больших деформаций и высокого гидростатического давления недостаточно для образования прочных контактов на границах раздела частиц.



а — 40 %, б — 20 %, в — 10 %; $\times 3000$

Рисунок 6 Микроструктура очага деформации образцов после РКУ-прессования с различной начальной пористостью



начальная пористость:
1 — 40 %; 2 — 20 %; 3 — 10 %

Рисунок 5 Изменение плотности по длине образца при скорости деформации $0,1 \text{ с}^{-1}$ (а) и 10 с^{-1} (б)

Вероятно, схватыванию порошков мешают также оксидные плёнки, поверхностные загрязнения и адсорбированные газы, которые не выносятся из зоны контакта [3].

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, исследования показали, что максимальную плотность порошковой заготовки пористостью 40 % можно получить только за четыре прохода. При этом сначала появляется очаг уплотнения, затем с ростом гидростатического давления он трансформируется в очаг деформации. При пористости заготовки 10 % максимальная её плотность достигается за один проход, а величина гидростатического давления обеспечивает образование очага деформации высокой плотности.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку технологии использования РКУ-прессования для получения деталей машиностроения.

Бібліографічний список

1. Maydanyuk, A. *Equal channel angular extrusion of porous billets : computer simulation and experimental study [Text]* / A. Maydanyuk, M. Shtern, G. Bagluck, L. Ryabicheva // *The International congress and exhibition EURO PM 2010 proceedings*. — Florence, 2010. — Vol. 3. — P. 1206–1212.
2. Майданюк, А. П. Эволюция распределения плотности при равноканальном угловом прессовании пористых заготовок [Текст] / А. П. Майданюк, Л. А. Рябичева, М. Б. Штерн, Г. А. Баглюк // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. — Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2008. — № 3, ч. 2. — С. 213–216.
3. Рябичева, Л. А. Деформационное поведение порошковой пористой заготовки при РКУ-прессовании [Текст] / Л. А. Рябичева, В. В. Смоляк // *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. — 2010. — № 43. — С. 22–26.
4. Valiev, R. Z. *Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation [Text]* / R. Z. Valiev, R. K. Islamgaliev, I. V. Alexandrov // *Progress in materials science*. — Ufa, 2000. — Vol. 45, no. 10. — P. 103–189.
5. Сегал, В. М. Процессы пластического структурообразования металлов [Текст] / В. М. Сегал, В. И. Резников, В. И. Копылов и др. — Минск : Наука и техника, 1994. — 232 с.
6. Segal, V. M. *Variation of the density of porous materials during plastic shaping [Text]* / V. M. Segal, V. I. Reznikov, V. F. Malyshev // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. — 1979. — Vol. 18, Iss. 7. — P. 427–431.
7. Favrot, N. *Modeling Sintering Deformations occurring After Cold Compaction, Qualitative Methods for the Mechanics of Compaction [Text]* / N. Favrot, J. Besson, C. Colin, F. Delannay, Y. Bienvenu // *Proceedings of the International Workshop on Modeling of Metal Powder Forming Process*. — Grenoble, 1997. — P. 133–147.
8. Боткин, А. В. Моделирование термических и механических условий деформирования и разрушения металла в процессах ИПД [Текст] / А. В. Боткин, Р. З. Валиев, С. В. Дубинина // *Мавлютовские чтения : Сб. ст. V всероссийской науч.-техн. конф.* — Уфа : УГАТУ, 2011. — Т 3. — С. 30–35.
9. Сегал, В. М. Совместная деформация слоистых металлов при простом сдвиге [Текст] / В. М. Сегал, Д. А. Павлик // *Технология лёгких сплавов*. — 1981. — № 10. — С. 47–52.
10. Carreker Jr, R. P. *Tensile deformation of high-purity copper as a function of temperature, strain rate, and grain size [Text]* / R. P. Carreker Jr, W. R. Hibbard Jr // *Acta Metal*. — 1953. — Vol. 1. — P. 654–655, 657–663.

© Рябичева Л. А.© Коробко Т. Б.© Бабич И. Н.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. зав. каф. МЧМ ДонГТУ Куберским С. В.,
д.т.н., проф., зав. каф. ПуХЛ ЛНУ им. В. Даля Гутько Ю. И.**

Статья поступила в редакцию 30.10.19.

д.т.н. Рябичева Л. О. (ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, ryabic@gmail.com),
к.т.н. Коробко Т. Б. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, korobko.tamara@rambler.ru),
Бабіч І. М. (ЛНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, ЛНР, nev123lg@gmail.com)

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОРОШКОВИХ ПОРИСТИХ ЗАГОТОВОК ПІД ЧАС РКК-ПРЕССУВАННЯ

Досліджено зміну гідростатичного тиску, щільності і мікроструктури порошкових пористих заготовок при РКК-пресуванні з різною швидкістю деформації. Максимальну щільність порошкової заготовки пористістю 40 % отримано за чотири проходи, пористістю 10 % — за один прохід. При цьому при пористості заготовки 40 % спочатку з'являється середовище ущільнення, потім зі зростанням гідростатичного тиску воно трансформується в середовище деформації. При пори-

стості заготовки 10 % величина гідростатичного тиску забезпечує створення середовища деформації високої щільності. Зростання швидкості деформації приводить до збільшення гідростатичного тиску і досягнення більшої щільності за меншу кількість проходів.

Ключові слова: рівноканальне кутове пресування, зсувна деформація, щільність, мікроструктура, величина зерна, швидкість деформації.

Doctor of Technical Sciences Ryabicheva L. A. (LNU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, ryabic@gmail.com), **PhD in Engineering Korobko T. B.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, korobko.tamara@rambler.ru), **Babich I. N.** (LNU named after V. Dahl, Lugansk, LPR)

EFFECT OF DEFORMATION RATE ON THE STRESS-STRAIN STATE OF POWDER POROUS BLANKS DURING EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING (ECAP)

There has been studied the change of hydrostatic pressure, density and microstructure of powder porous blanks during ECA-pressing with different deformation rate. The maximum density of powder blanks with a porosity of 40 % is obtainable only in four passes, with a porosity of 10 % — in one pass. At the same time, when the porosity of the blank is 40 %, first there is an area of firming, then with increasing of hydrostatic pressure it is transformed into a deformation zone. When the porosity of the blank is 10 %, the value of hydrostatic pressure provides the formation of a high-density deformation zone. Increasing of deformation rate leads to an increase in hydrostatic pressure and achieving greater density in fewer passes.

Key words: equal channel angular pressing, shear deformation, density, microstructure, grain size.

УДК 669.046.55:669.14

д.т.н. Бабанин А. Я.
(ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР),
д.т.н. Пономаренко А. Г.,
Первухин Д. В.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБРАЗУЮЩИХСЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИСАДКИ РАСКИСЛИТЕЛЕЙ

В результате выполненных исследований методом МГС-фаз применительно к равновесному содержанию кислорода в стали определено структурно-химическое состояние образующихся неметаллических включений для различных вариантов присадки раскислителей (марганца, кремния и алюминия) в зависимости от содержания углерода. Структурно-химическое состояние образующихся неметаллических включений представлено в виде СИМ-комплексов.

Ключевые слова: структурно-химическое состояние, неметаллические включения, последовательность присадки раскислителей, СИМ-комплексы.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В настоящее время механические и служебные свойства металлургической продукции всё в меньшей степени удовлетворяют требованиям потребителей. В частности, толстый лист для строительства магистральных газонефтепроводов, морских платформ, судов и кораблей, металл для гражданского и промышленного строительства (сортовой прокат, арматура, тонкий лист), железнодорожного транспорта (рельсы, колёса), машиностроительной и других отраслей промышленности требует значительного повышения качества, что ставит перед металлургами серьёзные задачи.

Решение данной задачи путём применения повышенного расхода дорогостоящих модификаторов и микролегирующих добавок приводит к значительному удорожанию продукции. Кроме того, эмпирический подбор модификаторов и микролегиатур, как правило, не даёт возможности в полной мере использовать их положительное влияние на качество металла и, тем самым, способствует нерациональному их применению, что также приводит к удорожанию металлопродукции и невозможности повышения её качества.

Современные технологии раскисления, модифицирования и микролегирования стали в процессе внепечной её обработки включают, в зависимости от поставленной цели, применение различных микролегирующих элементов:

- высокоактивные — магний, кальций, алюминий, РЗМ, в последнее время — барий;
- нитридообразующие — никель, титан, ниобий;
- карбидообразующие — кремний, кальций.

Следует отметить, что существующие теоретические и эмпирические закономерности равновесной термодинамики (CALPHAD-method, [1]), лежащие в основе представлений традиционного материаловедения и рассматривающие протекающие процессы как изменение химического состояния взаимодействующих компонентов, являются недостаточными для объективного и полного описания процессов взаимодействия вводимых раскислителей и микролегирующих элементов с металлом при выплавке и внепечной обработке стали. Это существенно затрудняет разработку более эффективных технологий повышения качества металлопродукции.

Создаваемое новое научное направление физического материаловедения, так называемое квантовое материаловедение, учитывающее не только изменение химического состава взаимодействующих компонентов, но и протекающие при этом их структурные преобразования, в настоящее время ещё не полностью разработано и апробировано, что не позволяет с его помощью точно описать протекающие процессы рафинирования стали и определить изменения структурно-химического состояния [2, 3].

Это является существенной проблемой, не позволяющей управлять процессом образования неметаллических включений и обеспечить их заданное структурно-химическое состояние, определяющее уровень качества, механических и служебных свойств металлопродукции.

Постановка задачи. Задачей данной научной работы является определение структурно-химического состояния образующихся неметаллических включений, в зависимости от последовательности присадки раскислителей, в частности марганца, кремния и алюминия, в сталеразливочный ковш в процессе выпуска плавки и от содержания углерода в металле применительно к низкоуглеродистой конструкционной стали.

Изложение материала и его результаты. В данной работе для описания структурно-химического состояния образующихся неметаллических включений в процессе рафинирования стали в неравновесной системе применена ранее разработанная новая теория МГС-фаз (модель гармоничных структур), основанная на закономерностях квантовой механики и периодического закона Д. И. Менделеева [4].

Данная теория позволяет более глубоко исследовать процессы и механизмы взаимодействия металлургических фаз «металл – шлак», образования неметаллических включений и их трансформацию на технологическом участке «АКП – кристаллизатор МНЛЗ».

Применяемая в данных исследованиях новая теория строения металлургических

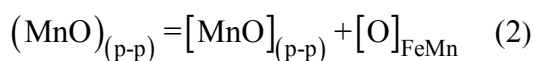
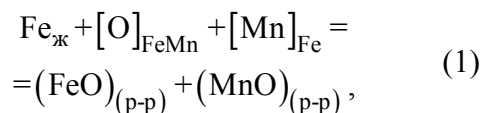
фаз по модели гармонических структур (теория МГС-фаз, [5]) основывается на принципе С-тетраэдра, который является функционалом взаимосвязанных физико-химических и технологических параметров материалов: состав → структура → свойства → синтез [6]. Теория МГС-фаз раскрывает содержание квантового материаловедения применительно к шлаковым и металлическим системам в твёрдом и жидком состоянии при производстве чугуна, стали, ферросплавов и лигатур.

С учётом электронного строения атомов, процессы взаимодействия описывают в три этапа: расчёт квантово-механических параметров атомов → моделирование атомных структур → прогноз физико-химических и механических свойств материалов. Подробное проведение наноструктурного анализа металлургических фаз описано в работе [7].

Применительно к равновесному содержанию кислорода и углерода в стали по разработанному методу представлен пример определения структурного химического состояния образующихся неметаллических включений.

При равновесном содержании кислорода (в зависимости от содержания углерода в стали) и при раскислении стали марганцем химический состав образующихся первичных неметаллических включений (НВ) определяется содержанием углерода в пробе металла, отобранной после повалки (пп).

Результаты расчётов химического и фазового состава образующихся в стали НВ при присадке марганецсодержащих ферросплавов, выполненных согласно уравнениям реакций раскисления



и термодинамическим характеристикам процессов взаимодействия для системы Fe–O–Mn, следующие:

– при температуре 1700 °С:

$$[C]_{\text{пл}} = 0,12 \% (67\text{FeO} + 33\text{MnO})_{\text{ТВ}}, \quad (3)$$

$$[C]_{\text{пл}} = 0,08 \% (58\text{FeO} + 42\text{MnO})_{\text{ТВ}}; \quad (4)$$

– при температуре 1650 °С:

$$[C]_{\text{пл}} = 0,12 \% (31\text{FeO} + 69\text{MnO})_{\text{ТВ}}, \quad (5)$$

$$[C]_{\text{пл}} = 0,08 \% (18\text{FeO} + 82\text{MnO})_{\text{ТВ}}. \quad (6)$$

В первую очередь, согласно диаграмме состояния FeO–MnO и количеству присаживаемого марганца для получения его содержания в стали 1,40–1,60 %, наблюдается протекание моновариантных равновесных реакций, когда образуются НВ переменного состава ($m\text{FeO} + n\text{MnO}$), которые для температуры 1700 °С при содержании углерода 0,12–0,08 % преимущественно жидкие, а при менее 0,08 % — преимущественно твёрдые. А для температуры 1650 °С при содержании углерода 0,12–0,08 % и менее — преимущественно твёрдые.

Для определения химического и структурного состава НВ использовали следующие исходные данные:

– содержание кислорода в стали до ввода ферросплавов принимали равновесным к углероду и определяли по уравнению Вачера и Гамильтона;

– содержание кислорода в стали после ввода марганецсодержащих ферросплавов принимали равным равновесному при содержании в стали $[\text{Mn}] = 1,5 \%$ и определяли по изотерме кислорода в железе [8].

При производстве конструкционных трубных сталей, когда температура металла на выпуске плавки близка к 1700 °С, при содержании $[C]_{\text{ст}} = 0,12\text{--}0,07 \%$ образуются наряду с твёрдыми преимущественно жидкие оксиды железа и марганца с массовым преимуществом оксидов железа. При содержании углерода менее 0,07 % образуются твёрдые оксиды железа и марганца с массовым преимуществом оксидов марганца.

При температуре стали на выпуске 1650 °С термодинамически вероятным является образование твёрдых оксидов желе-

за и марганца со значительным массовым преимуществом оксидов марганца. При снижении температуры стали до 1600 °С наблюдается стабильное образование твёрдых НВ, состоящих в основном из оксидов марганца с незначительным содержанием оксидов железа.

Результаты расчётов свидетельствуют, что химический и фазовый состав образующихся НВ в значительной степени определяется температурой и содержанием углерода в металле на выпуске плавки.

При последующей присадке кремния основную часть равновесных НВ составляют сложные силикатные включения преимущественно твёрдой фазы переменного состава ($m\text{FeO} + k\text{SiO}_2 + n\text{MnO}$), в меньшем количестве — силикатные (стекло и β -кристобалит) и оксидные включения в виде жидкой фазы.

Присадка алюминия приводит к образованию сложных силикато-алюминатных включений преимущественно твёрдой фазы переменного состава ($m\text{FeO} + f\text{Al}_2\text{O}_3 + k\text{SiO}_2 + n\text{MnO}$), в которых алюминий присутствует в виде алюмината железа $(\text{FeAl}_2\text{O}_4)_{\text{ТВ}}$ и/или корунда $(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{\text{ТВ}}$, а также возможно существование соединений переменного состава ($m\text{FeO} + f\text{Al}_2\text{O}_3$) в виде жидкой фазы. СИМ-комплексы представляют собой центрально-симметричные плоские (полигональные) ячейки или объёмные (полиэдрические) ячейки конструкции с максимально плотной упаковкой заданного числа частиц в единичном двух- или трёхмерном пространстве. Число частей (N), составляющих СИМ-комплекс, определяется структурной формулой исходных компонентов и промежуточных фаз, а плотность упаковки определяется из приведённых площади (S_0) и объёма (V_0) полигональных и полиэдрических ячеек путём деления численных значений $S_{\text{пл}}$ (нм^2) и $V_{\text{пл}}$ (нм^3) на N .

Геометрические параметры структурных ячеек определяются из орбитальных радиусов, рассчитанных по модели РОМ-атома для заданного типа химических свя-

зей железа (Fe^{2+}), алюминия (Al^{3+}) и кислорода (O^{2-} и O^{1-}) при образовании промежуточных фаз [9].

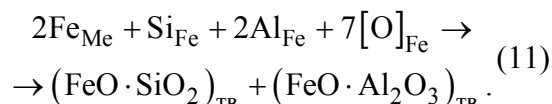
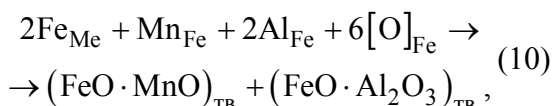
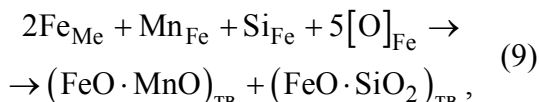
Полигональные ячейки имеют форму полимерных плоских сеток, имеющих открытые или закрытые концевые связи. Симметричность данных СИМ-комплексов определяет химическое соединение SiO_2 , располагаемое в их центре.

При последовательной присадке марганца, кремния и алюминия образуются НВ, имеющие следующий химический состав и соответствующий ему СИМ-комплекс:

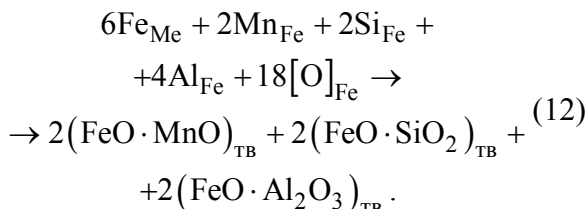
$$[\text{C}]_{\text{пп}} = 0,12 \% - \text{FeO}(41,5) \times \text{MnO}(27,3) \cdot \text{SiO}_2(11,5) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3(3,45), \quad (7)$$

$$[\text{C}]_{\text{пп}} = 0,08 \% - \text{FeO}(35,4) \times \text{MnO}(44,6) \cdot \text{SiO}_2(9,8) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3(10,2). \quad (8)$$

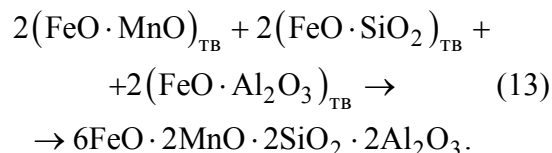
Комплексное раскисление стали марганцем, кремнием и алюминием (совместная присадка раскислителей) протекает по следующим реакциям:



Суммарная реакция:



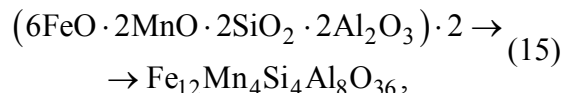
Химическая формула данного неметаллического включения имеет вид



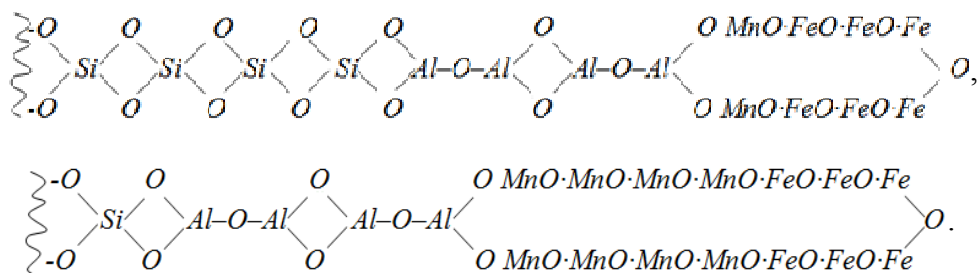
Химический состав данного НВ, %:

$$[\text{C}]_{\text{пп}} = 0,08 \% - \text{FeO}(48,1) \times \text{MnO}(15,8) \cdot \text{SiO}_2(13,4) \cdot \text{Al}_2\text{O}_3(22,7). \quad (14)$$

Согласно принципам построения и симметричности СИМ-комплексов структурная формула данного НВ будет иметь вид



а СИМ-комплекс



Таким образом, если сравнить структурно-химическое состояние НВ (химический состав, структурную формулу и СИМ-комплекс), образующихся при раскислении стали с одинаковой температурой и содержанием в ней углерода, то наблюдается значительное их различие, которое зависит от последовательности при-

садки раскислителей. Это свидетельствует о протекании процессов раскисления стали в большей мере в стохастическом режиме, при котором до образования окончательного структурно-химического состояния неметаллические включения находятся в каких-то промежуточных состояниях.

Следует отметить, что не все образующиеся неметаллические включения будут иметь данное структурно-химическое состояние, т. к. процессы протекают в стохастическом режиме и с недостаточным временем для перехода в равновесное состояние.

Это подтверждается различием химического состава неметаллических включений в стали (химический состав (%): С — 0,08, Mn — 0,42, Si — 0,09, Al — сл.) по спектрам (табл. 1), выполненным микрорентгеноспектральным методом на спектрометре энергетической дисперсии INCAPentaFETx3 при помощи автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа ULTRA 55.

Таблица 1

Химический состав неметаллических включений (средние значения по спектрам)

| Количество исследуемых спектров | Среднее содержание основных окислов в НВ, % | | |
|---------------------------------|---|------------------|-------|
| | FeO | SiO ₂ | MnO |
| 7 | 9,54 | 42,32 | 47,64 |
| 5 | 14,49 | 37,84 | 34,75 |
| 6 | 15,88 | 39,47 | 38,19 |

Библиографический список

1. Горбатов, О. И. Влияние магнетизма на растворимость 3d-элементов в ОЦК-Fe. Результаты первопринципных исследований [Текст] / О. И. Горбатов, С. В. Окатов, Ю. Н. Горностырев, П. А. Коржавый, А. В. Рубан // Физика металлов и материаловедение. — 2013. — Т. 114., № 8. — С. 698–710.
2. Пономаренко, А. Г. Вопросы термодинамики фаз переменного состава, имеющих коллективную электронную систему [Текст] / А. Г. Пономаренко // ЖФХ. — 1974. — Т. 48., № 7. — С. 1668–1674.
3. Физико-химические расчёты электросталеплавильных процессов [Текст] : учебное пособие для вузов / Г. А. Григорян, А. Я. Стомахин, А. Г. Пономаренко и др. — М. : Металлургия, 1989. — 288 с.
4. Будущее металлургии — за квантовым материаловедением стали [Текст] // Сталь. — 2007. — № 7. — С. 115.
5. Белов, Б. Ф. Теория МГС-фаз и её применение для разработки рафинировочных шлаков [Текст] / Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, В. Д. Александров и др. // Чёрная металлургия : бюл. ОАО «Черметинформация». — 2014. — Вып. 12. № 4. — С. 27–34.
6. Белов, Б. Ф. О природе химической связи элементов в металлургических фазах [Текст] / Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, А. С. Харлашин // Известия вузов : Чёрная металлургия. — 2002. — № 4. — С. 60–64.
7. Бабанин, А. Я. Наноструктурный анализ механизма образования неметаллических включений при ковшевой обработке стали сплавами ферросиликоалюминия и силикокальция [Текст] / А. Я. Бабанин, Б. Ф. Белов, В. В. Белоусов // Электрометаллургия. — 2018. — № 8. — С. 30–38.

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате выполненных исследований применительно к равновесному содержанию кислорода в стали методом МГС-фаз определено структурно-химическое состояние образующихся неметаллических включений при последовательной и одновременной присадке марганца, кремния и алюминия в зависимости от содержания углерода. Структурно-химическое состояние образующихся неметаллических включений представлено в виде СИМ-комплексов. Установлено, что структурно-химическое состояние образующихся неметаллических включений при одинаковой температуре металла и содержании в нём углерода после повалки определяется последовательностью присадки раскислителей.

Предполагается проведение более глубоких исследований для математического описания протекающих процессов рафинирования стали по методу МГС-фаз с целью совершенствования технологий внепечной обработки стали.

8. Куликов, И. С. Раскисление металлов [Текст] / И. С. Куликов. — М. : Металлургия, 1975. — 504 с.

9. Белов, Б. Ф. Структуризация металлургических фаз в жидком и твёрдом состояниях [Текст] / Б. Ф. Белов, А. И. Троцан, П. С. Харлашин // Известия вузов : Чёрная металлургия. — 2002. — № 4. — С. 70–75.

© Бабанин А. Я.

© Пономаренко А. Г.

© Первухин Д. В.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. зав. каф. МЧМ ДонГТУ Куберским С. В.,
д.х.н., проф., зав. каф. ФиФМ ДонНАСА Александровым В. Д.*

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

д.т.н. Бабанін А. Я. (ДонНАБА, м. Макіївка, ДНР, bay1957@maqil.ua), **д.т.н. Пономаренко О. Г.,**
Первухін Д. В. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР, pervuhin.mitya@yandex.ru)

СТРУКТУРНО-ХІМІЧНИЙ СТАН НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ, В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПОСЛІДОВНОСТІ ПРИСАДКИ РОЗКИСЛЮВАЧІВ

В результаті виконаних досліджень методом МГС-фаз стосовно до рівноважного вмісту кисню в сталі визначено структурно-хімічний стан неметалевих включень, що утворюються, для різних варіантів присадки розкислювачів (марганцю, кремнію і алюмінію) залежно від вмісту вуглецю. Структурно-хімічний стан неметалевих включень, що утворюються, представлено у вигляді СИМ-комплексів.

Ключові слова: структурно-хімічний стан, неметалеві включення, послідовність присадки розкислювачів, СИМ-комплекси.

Doctor of Technical Sciences Babanin A. Ya. (DonNABA, Makeyevka, DPR, bay1957@mail.ua),

Doctor of Technical Sciences Ponomarenko A. G., Pervukhin D. V. (DonNTU, Donetsk, DPR)

STRUCTURAL AND CHEMICAL STATE OF THE FORMING NON-METALLIC INCLUSIONS DEPENDING ON SEQUENCE OF ADDING OF DEOXIDIZERS

As a result of the completed research by the method of MGS-phases in relation to the equilibrium oxygen content in steel, the structural and chemical state of the forming non-metallic inclusions for different variants of adding of deoxidizers (manganese, silicon and aluminum) depending on the carbon content was determined. The structural and chemical state of the forming nonmetallic inclusions is presented in the form of SIM-complexes.

Key words: structural and chemical state, non-metallic inclusions, sequence of adding of deoxidizers, SIM-complexes.

УДК 669.184.13

Тюляев Д. В.
(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС», г. Алчевск, ЛНР),
к.т.н. Куберский С. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
д.т.н. Пономаренко А. Г.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР),
Тюляев А. В.
(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС», г. Алчевск, ЛНР)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК АГЛОМЕРАТА В КОНВЕРТЕРНУЮ ШИХТУ НА ИЗНОС ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТОЙ ФУТЕРОВКИ

При дефиците металлического лома и повышенном расходе жидкого чугуна в качестве охладителей в кислородно-конвертерном процессе используются различные железосодержащие добавки. В условиях действующего производства исследовано влияние использования агломерата в качестве охладителя в шихте конвертерной плавки на износ периклазоуглеродистой футеровки кислородного конвертера. С учётом минимизации влияния первостепенных факторов на износ футеровки путём выбора наиболее представительных периодов эксплуатации и зон футеровки конвертера проведена оценка влияния добавок агломерата в шихту на динамику износа футеровки кислородного конвертера.

Ключевые слова: кислородный конвертер, агломерат, футеровка, огнеупоры, плавка, охладитель.

Конвертерное производство стали является одним из наиболее ресурсоёмких металлургических переделов и характеризуется образованием большого количества отходов производства, основную долю которых составляют шлаки, шламы и пыль, содержащие значительное количество полезных элементов и в первую очередь железа. Содержание железа в этих отходах в виде металлической и оксидной фаз может достигать 50–60 %, утилизация их в технологическом цикле металлургического производства за счёт замены традиционных материалов ограничена и имеет определённые особенности. Эти особенности обусловлены степенью влияния добавок отходов в шихту на технологические параметры процессов, а также эксплуатационные характеристики тепловых агрегатов и в первую очередь стойкость их футеровки [1].

В работе [1] рассмотрены основные физико-химические свойства некоторых металлургических отходов и предложены пу-

ти их утилизации на различных этапах получения стальной металлопродукции.

На сегодняшний день наиболее привлекательным и слабо изученным этапом технологии металлургического передела для утилизации железосодержащих отходов является процесс выплавки стали в конвертерах.

Добавка указанных выше отходов в шихту конвертерной плавки может обеспечить целый ряд положительных факторов:

- ускорение шлакообразования и повышение окисленности металла, что способствует эффективной дефосфорации расплава;
- переход железа отходов в сталь и, соответственно, повышение выхода годного;
- снижение температуры стали на повалке, что позволит улучшить параметры плавки с точки зрения растворимости вредных примесей, угара раскислителей и лигатур, стойкости футеровки конвертера и др.

В свою очередь, дополнительное введение оксидов железа в конвертерную шихту вызывает образование более агрессивных шлаков и большего их количества, что

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

может негативно повлиять на износ футеровки, рафинировочные процессы и выход годного.

Оценить реальную степень позитивного и негативного влияния утилизации железосодержащих отходов в конвертерной плавке невозможно без проведения комплекса экспериментальных исследований в условиях действующего производства.

Учитывая тот факт, что одним из наиболее лимитирующих параметров конвертерного производства в условиях Филиала № 12 ЗАО «Внешторгсервис» (АМК) является стойкость футеровки плавильного агрегата, именно этому вопросу на первом этапе исследований было уделено особое внимание. Имеющиеся в настоящее время на предприятии проблемы стойкости огнеупоров обусловлены целым рядом технологических и организационных факторов, среди которых можно выделить ограниченное количество поставщиков, качество предлагаемых футеровочных материалов, а также значительные колебания объёмов производства, видов и свойств используемых шихтовых материалов.

Ещё одна проблема в утилизации отходов связана с необходимостью разработки рациональных технологий их специальной подготовки к металлургическому переделу с учётом крупности, засорённости, влажности, наличия вредных примесей, опас-

ных веществ и т. д., а это в значительной степени увеличивает сроки, необходимые для проведения всесторонних исследований. Поэтому на первом этапе работы было принято решение использовать в качестве аналога железосодержащих отходов офлюсованный агломерат производства аглофабрики АМК.

Содержание железа общего в офлюсованном агломерате находится на уровне 50–55 % (табл. 1), что сопоставимо с содержанием железа в пыли, улавливаемой из отходящих газов при продувке металла в конвертере (табл. 2).

С учётом определённых допущений технологическую целесообразность и объёмы утилизации пыли газоочисток при производстве стали можно оценить на основании опыта использования агломерата в конвертерной шихте.

Цель данной работы заключается в определении степени влияния добавок агломерата в шихту конвертерной плавки на износ периклазоуглеродистой футеровки плавильного агрегата.

Объектом исследования является технологический процесс выплавки стали в кислородном конвертере.

Предметом исследования является характер износа футеровки плавильного агрегата при использовании в шихте нетрадиционных материалов.

Таблица 1

Химический состав офлюсованного агломерата анализируемых периодов работы конвертера с применением агломерата в шихте

| Плавки с начала кампании | Fe _{общ} , % | FeO, % | SiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | Основ., ед. | Al ₂ O ₃ , % | MnO, % |
|--------------------------|-----------------------|--------|----------------------|--------|--------|-------------|------------------------------------|--------|
| 504–656 | 54,74 | 12,09 | 8,49 | 11,71 | 1,68 | 1,38 | 1,02 | 0,35 |
| 772–854 | 52,72 | 11,27 | 7,88 | 13,96 | 2,61 | 1,77 | 1,08 | 0,56 |

Таблица 2

Химический состав пыли, улавливаемой из отходящих газов при продувке металла в конвертере

| Газоочистная установка | Fe _{общ} , % | Fe _{мет} , % | FeO, % | Fe ₂ O ₃ , % | SiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | Al ₂ O ₃ , % | MnO, % |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|------------------------------------|--------|
| Скруббер | 55,2 | 25,8 | 28,0 | 11,0 | 2,9 | 23,4 | 3,4 | 0,5 | 0,4 |
| Электрофильтр | 54,2 | 6,8 | 19,3 | 46,8 | 2,6 | 13,8 | 2,0 | 0,4 | 0,6 |

Задачи исследования:

- проанализировать износ огнеупоров рабочего слоя конвертера при использовании различных видов шихтовых материалов;
- оценить влияние добавок агломерата в шихту на стойкость рабочего слоя футеровки конвертера.

Для достижения поставленной цели в условиях кислородно-конвертерного цеха АМК были исследованы параметры 945 плавов с начала кампании конвертера. Анализируемый массив плавов был условно разделён на два периода: без использования агломерата в шихте (плавы 1–503 и 657–771) и с ним (плавы 504–656 и 772–854). Погрузка агломерата в совки на лом производилась грейфером.

На плавках с использованием агломерата наблюдалось интенсивное вспенивание шлака в начальный период продувки. С целью недопущения выбросов шлака и чрезмерного его вспенивания расход агломерата был ограничен в пределах 5,3–18,7 кг/т. Износ футеровки определялся путём замера остаточной её толщины с помощью мобильного лазерного сканера. Принцип работы сканера основан на бесконтактном эхоимпульсном методе измерения расстояний в определённой системе координат футеровки внутри конвертера и определении температуры, измеряемой с помощью инфракрасного пирометра. Периодичность сканирования составляет 1,5–2,0 суток. Замер производился в 4-х зонах конвертера — завалки (180°), слива (0°), холостой (270°) и приводной (90°) цапф — и приведён на рисунке 1.

В ходе эксплуатации конвертера наблюдался неравномерный износ футеровки по контролируемым зонам, что обусловлено со стороны завалки и слива дополнительным размывом потоками металла и шлака при наклоне конвертера, заливке чугуна, сливе металла, механическими повреждениями кусками заваливаемого лома и др.

По ходу кампании с целью снижения износа футеровки выполнялся комплекс

превентивных мер по сохранению футеровки конвертера в рабочем состоянии:

- ошлаковка методом раздува шлака, предусматривающая вдувание азота высокого давления через верхнюю кислородную фурму конвертера с целью разбрызгивания шлака по футеровке. Шлак покрывает её, охлаждается, затвердевает и создаёт прочный защитный слой, способствующий снижению скорости износа огнеупоров и снижению эксплуатационных затрат. Процесс реализуется после полного выпуска стали, когда в конвертере остаётся только шлак. При необходимости (визуальный контроль) производится присадка корректирующих добавок на шлак (уголь, известняк, доломит) для его кондиционирования;

- подварка со стороны завалки и слива с применением подварочных масс и брикетов, а также огнеупорного лома сталеразливочных ковшей. На оставшийся после слива плавы в конвертере шлак присаживают подварочные материалы, наклоняют конвертер в сторону подвариваемого участка и выдерживают до растекания и затвердевания слоя. Оставшийся шлак сливают в шлаковую чашу;

- торкретирование (нанесение на поверхность горячей футеровки огнеупорной массы факельным распылением) со стороны холостой и приводной цапф ввиду невозможности осуществления подварки;

- оптимизация содержания MgO в шлаке на уровне 6–8 % с целью купирования процесса перехода MgO футеровки конвертера в шлак [2].

Химический состав материалов, применяемых для ухода за футеровкой конвертера, приведён в таблице 3.

Особенности эксплуатации футеровки конвертера:

- торкретирование локальных участков износа футеровки начато с 813-ой плавы по футеровке;

- подварку футеровки подварочной массой начали выполнять с 260-ой плавы;

- ошлаковку конвертера начали производить с 51-ой плавы.

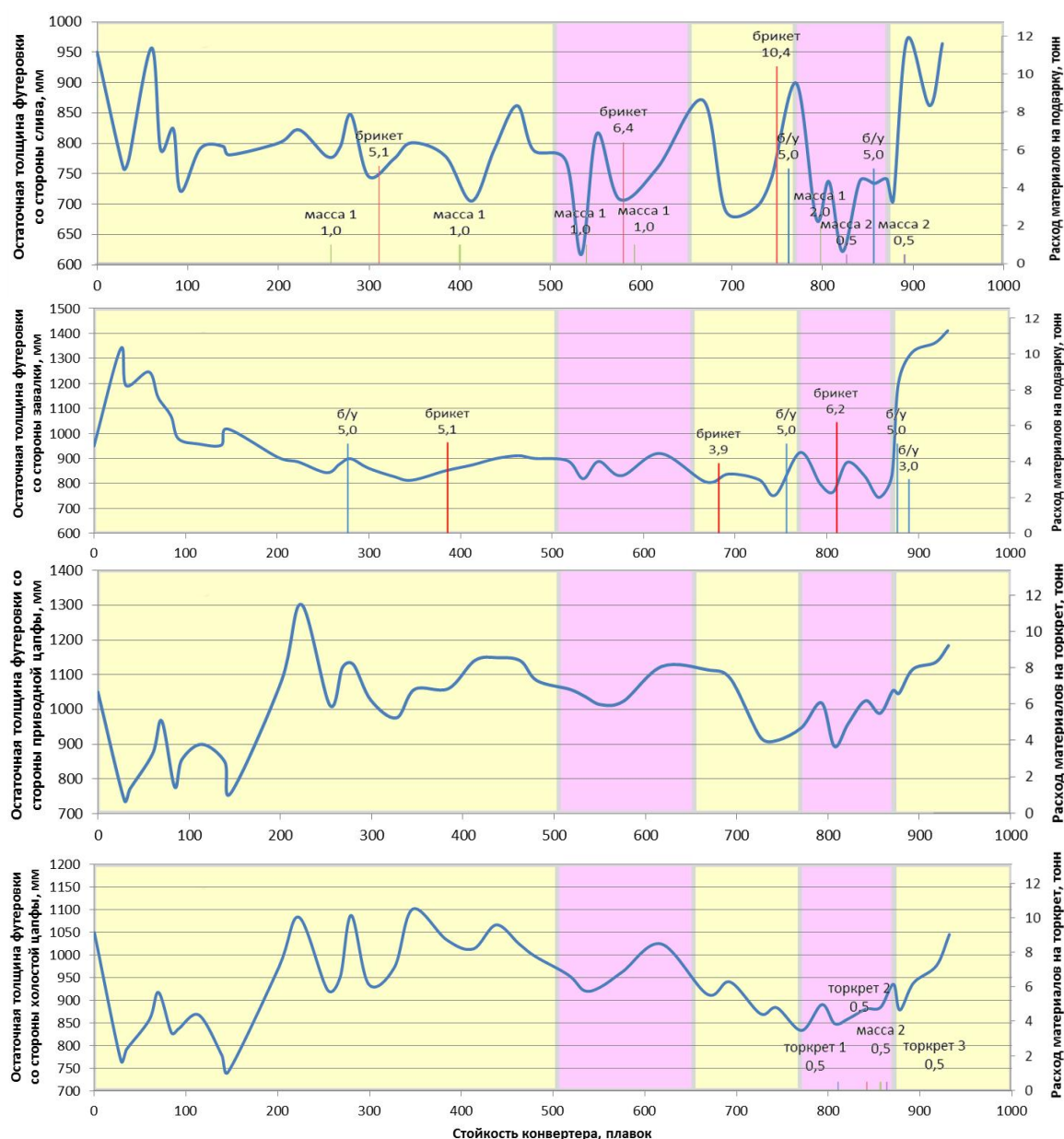


Рисунок 1 Характер изменения толщины футеровки в ходе кампании и расход материалов (в соответствии с таблицей 3) на различные виды её ремонта (б/у — огнеупорный лом, выделенные области — использование агломерата)

Таблица 3

Основные параметры материалов для ухода за футеровкой конвертера

| Материал | MgO | CaO | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | C | ппп | Предел прочности при сжатии, Н/мм ² | Размеры, мм |
|-----------|-------|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-----|--|-------------|
| брикет | ≥65,0 | 1,5–4,0 | | | | 8 | | ≥25,0 | 300/150/100 |
| торкрет 1 | ≥80,0 | ≤3,0 | 3 | 6 | 1,2 | | 2 | | 0–2 |
| торкрет 2 | ≥80,0 | | ≤6,0 | | | | | | 0–4 |
| торкрет 3 | ≥80,0 | | | | | | | ≥18,0 | 0–5 |
| масса 1 | ≥65,0 | | | | | ≤20,0 | 2 | | 0–10 |
| масса 2 | ≥80,0 | | | | | | | | 0–4 |

Стойкость футеровки определяется стойкостью участков повышенного износа, т. е. минимальной остаточной толщиной по контролируемым зонам, и представлена на рисунке 2.

Сравнивая результаты, представленные на рисунках 1 и 2, можно отметить, что динамика изменения минимальной остаточной толщины футеровки конвертера аналогична динамике изменения остаточной толщины со стороны слива. Т. е. зона слива подвергается наиболее интенсивному износу, что требует максимальных ремонтных воздействий для поддержания футеровки в удовлетворительном состоянии в ходе кампании конвертера. Превышение нормативного износа и минимальная остаточная толщина футеровки имели место в

периоды использования агломерата, составив 617 мм после 534-ой плавки и 622 мм после 822-ой плавки. Причинами резкого снижения остаточной толщины футеровки в период с 517-ой по 534-ю плавки (с 771 до 617 мм) явились увеличение расхода жидкого чугуна с 970 до 1000 кг/т и снижение количества ошлаковок, обусловленное производственной необходимостью. Снижение остаточной толщины футеровки с 771-ой по 822-ю плавку (с 899 до 622 мм) было связано с увеличением количества додувок ввиду повышенного содержания хрома, поступающего с жидким чугуном. Каждая додувка вызывает дополнительные колебания температуры футеровки, подсосы воздуха в конвертер и повышение окисленности шлака [3].

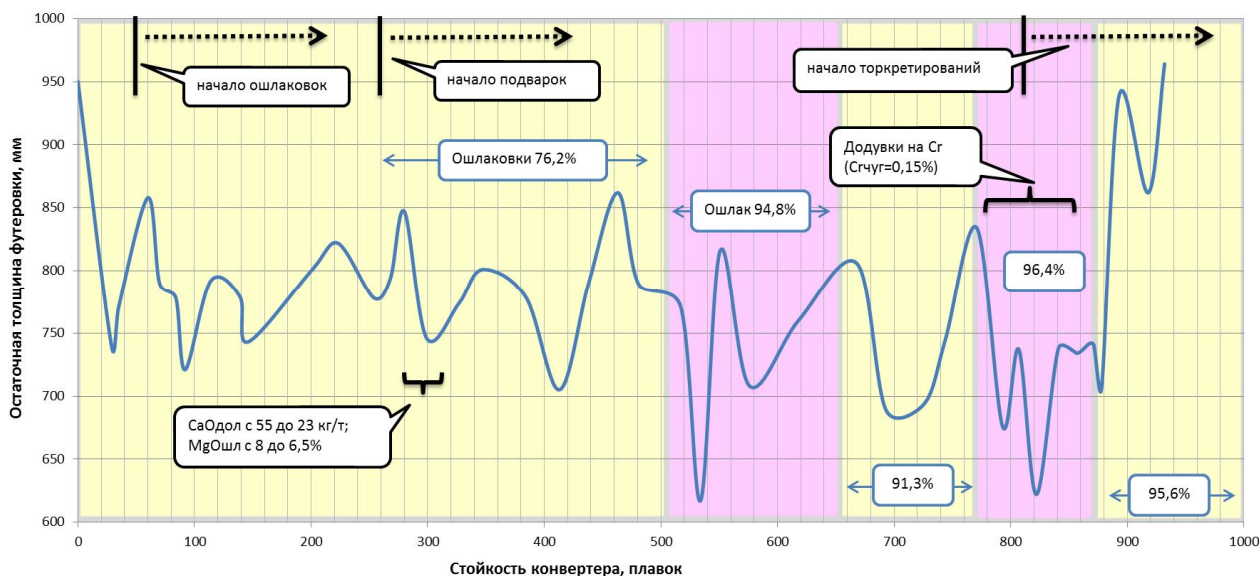


Рисунок 2 Минимальная остаточная толщина футеровки конвертера по контролируемым зонам и технологические особенности её эксплуатации (выделенные области — использование агломерата)

При работе конвертера без использования агломерата также наблюдались периоды повышенного износа футеровки, а именно:

– с 1-ой по 35-ю плавку (с 950 до 774 мм) обусловлено начальным периодом эксплуатации (выгорание углеродной связки огнеупора) и отсутствием операций по уходу за футеровкой конвертера;

– с 280-ой по 299-ю плавку (с 847 до 746 мм) ввиду размыва шлакового гарнисажа при снижении содержания MgO в шлаке (с 8 до 6,5 %) из-за дефицита доломитизированной извести;

– с 668-ой по 693-ю плавку (с 871 до 689 мм) из-за размыва подварки и шлакового гарнисажа при снижении количества

ошлаковок, связанного с производственной необходимостью.

Наиболее резкие колебания остаточной толщины имели место со стороны слива, что обусловлено дополнительным размывом потоками металла и шлака при наклоне конвертера.

Также необходимо отметить, что в соответствии с данными, представленными на рисунке 2, после 932-ой плавки остаточная толщина огнеупорной футеровки по кон-

тролируемым зонам превысила первоначальную. Это объясняется регулярным и качественным выполнением технологических операций по уходу за футеровкой в период работы конвертера с 800-ой по 900-ю плавку. На основании замеров остаточной толщины футеровки на начало и конец анализируемых периодов определены значения удельного расхода огнеупоров, характеризующие динамику износа футеровки для каждой из рассматриваемых зон (рис. 3).

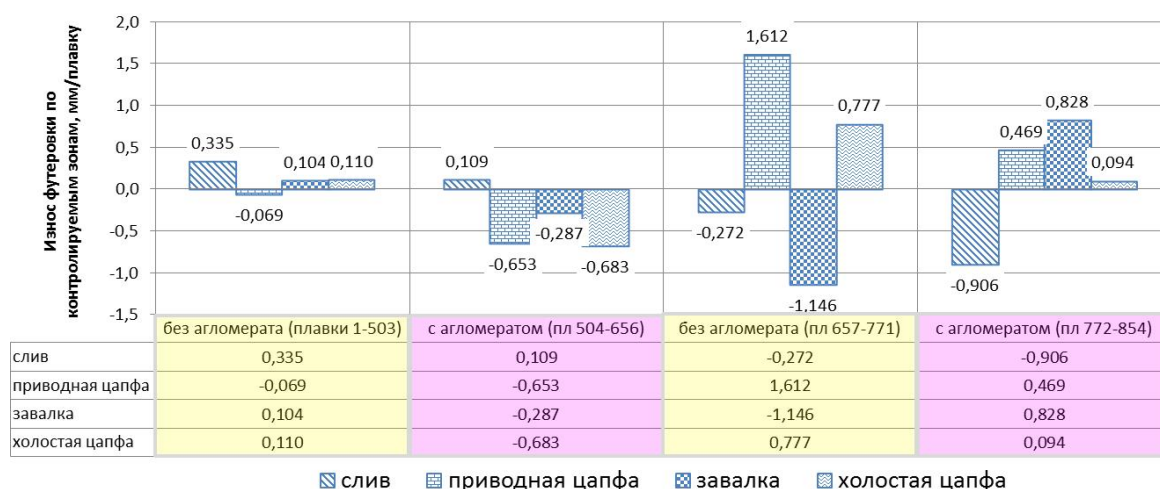


Рисунок 3 Средние значения удельного расхода футеровки по контролируемым зонам конвертера (выделенные области — использование агломерата)

Со стороны приводной цапфы в исследуемом периоде не проводились технологические операции по поддержанию футеровки и практически не наблюдалось влияние на её износ воздействий, возникающих при наклоне конвертера, что позволяет оценить износ футеровки этой зоны в зависимости от использования агломерата в шихте. Основное разрушающее воздействие на футеровку в этом случае может быть обусловлено изменением свойств образующегося шлака, который при высоком содержании оксидов железа, дополнительно вносимых агломератом, будет способствовать образованию в зоне контакта с огнеупором легкоплавких соединений (особенно с CaO) и обезуглероживанию его поверхностных слоёв.

В период с 772-ой по 854-ю плавку было допущено увеличение содержания хрома в

чугуне до 0,15 %, что повлекло увеличение додувок плавки на корректировку содержания хрома в металле на повалке, потому указанный период не является представительным относительно сопоставимости технологических условий. В период с 657-ой по 771-ю плавку снижен процент ошлаковок футеровки конвертера, что повлекло снижение остаточной толщины ввиду размыва шлакового гарнисажа, образованного в предшествующий период. Таким образом, период с 657-ой по 771-ю плавку также не является представительным.

В начальный период кампании с 1-ой по 503-ю плавку снижение процента ошлаковок обусловлено их отсутствием на первых 50-ти плавках.

На основании вышеизложенного можно выделить два наиболее представительных

периода изменения остаточной толщины футеровки конвертера:

1. С 1-ой по 481-ю плавку, без использования агломерата. Остаточная толщина футеровки на начало периода составляла 1050 мм, а в конце — 1083 мм.

2. С 504-ой по 656-ю плавку, с использованием агломерата. Остаточная толщина футеровки на начало периода составляла 1058 мм, а в конце — 1124 мм.

В обоих случаях увеличение толщины футеровки обусловлено нанесением шлакового гарнисажа за счёт ошлаковок.

Несмотря на теоретическое увеличение оксидов железа и кремния в шлаке при использовании агломерата, существенно-

го влияния на износ футеровки это не оказывает.

В результате проведённых экспериментов было установлено, что при использовании агломерата в шихте конвертерной плавки в пределах 5,3–18,7 кг/т стали практически отсутствует его влияние на износ периклазоуглеродистой футеровки в исследованном периоде кампании.

В ходе дальнейших исследований предполагается проанализировать технологические показатели конвертерных плавов с использованием агломерата и в первую очередь шлаковый режим, содержание вредных примесей в стали и усвоение легирующих элементов.

Библиографический список

1. Тюляев, Д. В. Анализ физико-химических свойств и технологической ценности конвертерной пыли [Текст] / Д. В. Тюляев, С. В. Куберский, М. Ю. Проценко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2019. — № 13 (56). — С. 34–39.
2. Аксельрод, Л. М. Повышение стойкости футеровки конвертеров : огнеупоры, технологические приёмы [Текст] / Л. М. Аксельрод, А. П. Лаптев, В. А. Устинов, Ю. Д. Геращук // Металл и литьё Украины. — 2009. — № 1–2. — С. 9–15.
3. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия [Текст] : учебник для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. — М. : Академкнига, 2005. — 768 с.

© Тюляев Д. В.

© Куберский С. В.

© Пономаренко А. Г.

© Тюляев А. В.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В., зам. нач. ККЦ по технологии филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» Швецем Д. В.

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

Тюляев Д. В. (Філія № 12 ЗАТ «ВНЕШТОРГСЕРВИС», м. Алчевськ, ЛНР),
к.т.н. Куберський С. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **д.т.н. Пономаренко О. Г.** (ДонНТУ,
м. Донецьк, ДНР), **Тюляев О. В.** (Філія № 12 ЗАТ «ВНЕШТОРГСЕРВИС», м. Алчевськ, ЛНР)

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОБАВОК АГЛОМЕРАТУ В КОНВЕРТЕРНУ ШИХТУ НА ЗНОШЕННЯ ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВОЇ ФУТЕРОВКИ

За дефіциту металевого брухту та підвищеного витрачання рідкого чавуну у якості охолоджувачів в киснево-конвертерному процесі використовуються різноманітні залізовмісні добавки. В умовах діючого виробництва досліджено вплив використання агломерату в якості охолоджувача в шихті конвертерної плавки на зношення периклазовуглецевої футеровки кисневого конвертера. З урахуванням мінімізації впливу першорядних чинників на зношення футеровки шляхом вибору найбільш показних періодів експлуатації та зон футеровки конвертера проведено оцінку впливу добавок агломерату в шихту на динаміку зношення футеровки кисневого конвертера.

Ключові слова: кисневий конвертер, агломерат, футеровка, вогнетрив, плавка, охолоджувач.

Tiuliaev D. V. (Branch № 12 ZAO «VNESHTORGSERVIS» (Closed Joint-Stock Company), Alchevsk, LPR), **PhD in Engineering Kuberskiy S. V.** (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Doctor of Technical Sciences Ponomarenko A. G.** (DonNTU, Donetsk, DPR), **Tiuliaev A. V.** (Branch № 12 ZAO «VNESHTORGSERVIS» (Closed Joint-Stock Company), Alchevsk, LPR)

ANALYZING THE INFLUENCE OF SINTER ADDITIVES TO CONVERTER MIXTURE ON WEAR OF THE PERICLASE-CARBONACEOUS LINING

With a shortage of scrap metal and increased consumption of liquid cast iron, the various iron-containing additives are used as coolers in the oxygen converter process. In the conditions of acting production there has been studied the effect of sinter using as a cooler in the mixture of converter operation on wear of the periclase-carbonaceous lining of an oxygen converter. Taking into account the minimization of the influence of primary factors on the lining wear by choosing the most representative operating periods and zones of the converter lining there has been assessed the influence of sinter additives to the mixture on the wear dynamics of the oxygen converter lining.

Key words: oxygen converter, sinter, lining, firebricks, smelting, cooler.

УДК 664.73.05

*Филатов М. А., к.т.н. Левченко Э. П., к.т.н. Карпук И. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
д.т.н. Зубков В. Е.
(г. Луганск, ЛНР),
Кащеев А. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОБОПРИГОТОВЛЕНИЯ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрены возможности бестрансмиссионного обеспечения движения мелющих тел в электромагнитном измельчителе и его особенности для приготовления проб в агломерационном производстве. Показана картина распределения векторного магнитного потенциала в активной зоне рабочей камеры устройства.

Ключевые слова: электромагнитный измельчитель, мелющие тела, магнитное поле, рабочая камера, энергоэффективность.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Главнейшим направлением повышения стабильности работы доменных печей является рациональное распределение шихтовых материалов в агломерационном сырье. Так, нарушение режимов выплавки чугуна может существенным образом сказываться на повышении расхода дорогостоящего кокса, снижении производительности процесса плавки, ухудшении газопроницаемости и др. [1–3].

В связи с этим при производстве агломерата в агломерационных цехах осуществляется постоянный контроль химического состава готового агломерата на предмет определения в нём процентного соотношения железа и кремнезёма и поддержания их пропорций на постоянном уровне, что способствует стабилизации режимов работы и управления доменных печей и, соответственно, улучшению основных показателей их работы.

На сегодняшний день [4] для определения химического состава агломерата, как правило, через определённые промежутки времени (около 30 мин) с помощью механического пробоотборника отбираются его представительные пробы массой около 180 кг на технологическом тракте погрузки в хопперы.

В дальнейшем полученный материал подвергается сокращению с последующим предварительным дроблением на малогабаритных лабораторных щековых дробилках до фракции 0–10 мм.

После этого производится сокращение полученного продукта до количества 2–2,5 кг с окончательным измельчением на мельницах валкового типа до размеров 0–3 мм. Окончательная подготовка пробы заключается в очередном её сокращении до массы 0,5 кг и истирании до размеров частиц 0,071 мм. После этого полученный порошок в количестве 100 г поступает непосредственно на химический анализ.

Таким образом, существующий традиционный технологический процесс пробоприготовления требует большой номенклатуры лабораторного оборудования, обслуживаемого значительным количеством персонала, и характеризуется продолжительностью около двух часов.

С учётом вышеприведённого актуальным направлением усовершенствования процесса подготовки проб агломерата является создание оборудования, позволяющего осуществлять комплексный подход к упрощению получения сырья для химического анализа при одновременном сохранении его качества.

Постановка задачи. Задачей исследований является повышение эффективности процесса пробоприготовления путём интенсификации измельчения агломерата, отобранного для химического анализа.

Изложение материала и его результаты. Ранее в Донбасском государственном техническом университете осуществлялись работы по созданию и внедрению универсального пробоприготовительного комплекса [5] на основе конусной и ударной роторной дробильно-измельчительных машин, собранных в единую компоновочную схему вертикального исполнения, снабжённых вибрационным питателем сырьевых компонентов, дисковым сократителем и разгрузочным устройством, оборудованным рукавным фильтром (рис. 1).

Данный комплекс хоть и обеспечивал получение пробы нужного качества, однако отличался значительно большей компактностью по сравнению с оборудовани-

ем, применяемым для аналогичных целей в агломерационных цехах, но всё же являлся достаточно сложным по конструкции и особенно, с точки зрения ремонтнопригодности, требовал высокой квалификации обслуживающего его персонала и значительного времени на настройку.

Выполненный обзор различных источников информации по данному вопросу показывает, что в настоящее время всё большее распространение для повышения энергоэффективности процессов диспергирования материалов находят разработки, касающиеся электромагнитных измельчителей, обеспечивающих движение мелющих тел в рабочей камере за счёт переменного магнитного поля [6]. Данные устройства обеспечивают уменьшение энергоёмкости процесса диспергирования в связи с отсутствием необходимости в дополнительных источниках электроэнергии для создания сил, разрушающих материал.

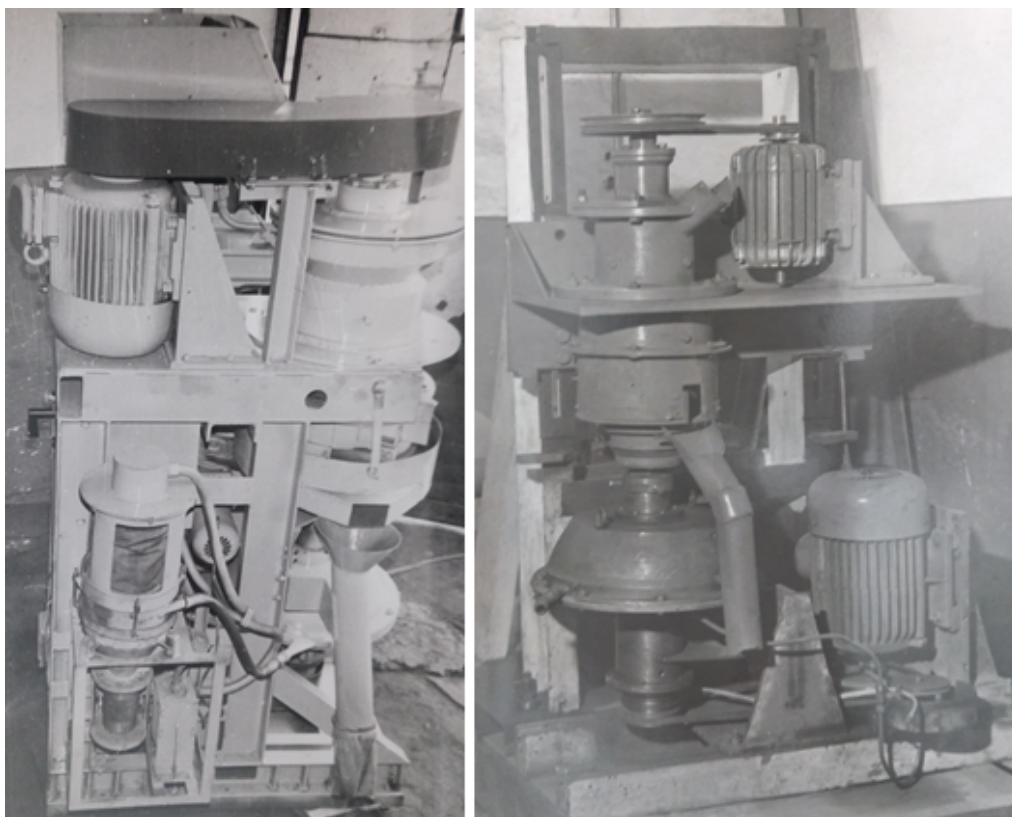


Рисунок 1 Комплекс для приготовления проб железной руды

Наибольшим вниманием пользуются мельницы, в которых создаётся переменное магнитное поле, по сравнению с измельчителями с постоянным магнитным полем, хотя имеются прототипы, где на основе постоянных магнитов в рабочей камере создаются пульсирующие и вращающиеся магнитные поля.

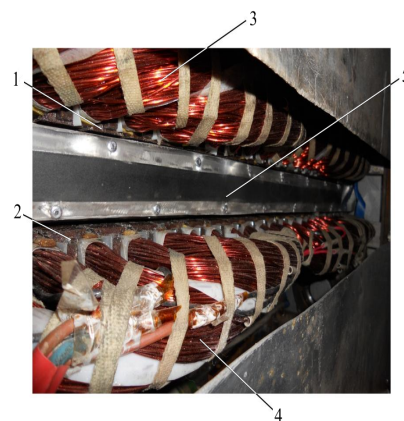
Такой способ задания движения мелющим элементам позволяет снизить энергоёмкость процесса диспергирования материалов в связи с отсутствием механических вращающихся элементов и трансмиссионной связи передачи движения, а следовательно, обладает гораздо большим коэффициентом полезного действия, т. к. известно, что потери энергии в трансмиссии могут достигать 10–15 % и более [2].

Пока что низкая производительность и узкая специализация затрудняют широкое применение подобных устройств, однако всё чаще и чаще они находят своё применение в различных сферах производств, требования которых удовлетворяют техническим условиям таких машин.

В текущее время в Донбасском государственном техническом университете спроектирована, разработана и исследуется конструкция электромеханического измельчителя (рис. 2) [7, 8], который состоит из корпуса со смонтированными в нём обмотками возбуждения (рис. 3) переменного магнитного поля.



Рисунок 2 Экспериментальный образец электромеханического измельчителя



1, 2 — индукторы бегущего поля;
3, 4 — трёхфазные обмотки; 5 — рабочая камера

Рисунок 3 Внутреннее устройство (вид на электромагнитные катушки)

При протекании электрического тока в обмотках возбуждения генерируется переменное магнитное поле, приводящее к направленному движению мелющей загрузки в виде ферромагнитных тел роликообразной (цилиндрической) формы, которые совершают сложные колебательные и вращательные движения и взаимное столкновение в рабочей камере измельчителя (рис. 4), где находится и материал, подлежащий диспергированию на более мелкие компоненты.

Дифференциальное уравнение электромагнитного поля в частных производных относительно векторного магнитного потенциала представляется как [8]

$$\operatorname{rot}\left(\frac{1}{\mu} \cdot \operatorname{rot} \bar{A}\right) - \gamma \cdot \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} - \operatorname{rot}(\bar{v} \cdot \operatorname{rot} \bar{A}) = -\bar{J}_{\text{стор}}, \quad (1)$$

где $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ — абсолютная магнитная проницаемость; γ — удельная электрическая проводимость; \bar{v} — вектор скорости движения электропроводящей среды относительно источника магнитного поля; $\bar{J}_{\text{стор}}$ — плотность сторонних токов.

Для непроводящих областей справедливо уравнение Пуассона, имеющее вид

$$\operatorname{rot}\left(\frac{1}{\mu} \cdot \operatorname{rot} \bar{A}\right) = -\bar{J}_{\text{стор}}. \quad (2)$$

Основные параметры электромеханического измельчителя представлены в таблице 1.

Картина распределения векторного магнитного потенциала в активной зоне рабочей камеры электромеханического измельчителя показана на рисунке 5 [8, 9].

Сравнительная визуальная оценка силового магнитного поля и рабочей камеры показывает, что линии силового электромагнитного воздействия чётко соответствуют характеру деформации элементов участков рабочей камеры.

Таблица 1

Технические характеристики электромеханического измельчителя

| Параметр | Характеристика параметра |
|---------------------------|--------------------------|
| Вид тока | 3-фазный переменный |
| Напряжение | 380 В |
| Частота переменного тока | 50 Гц |
| Потребляемая мощность | 4 кВт |
| Объём рабочей камеры | 2,68 дм ³ |
| Максимальное время работы | 7 мин |
| Вид охлаждения | воздушное |



Рисунок 4 Рабочая камера

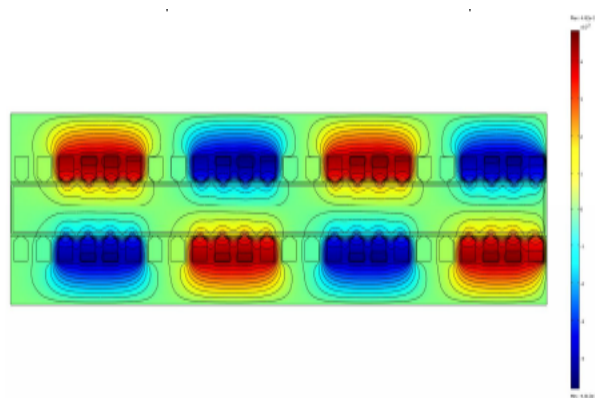


Рисунок 5 Распределение магнитного поля

Магнитное поле представлено устойчивым знакопеременным характером, а его величина достигает 0,084 Тл, что является вполне характерным с точки зрения организации движения ферромагнитных мелющих тел.

В экспериментальной модели загрузка исходного продукта и выгрузка готового материала осуществляется периодически, однако в дальнейшем планируется организация непрерывной подачи и выгрузки, например, с помощью пневмотранспорта.

Предварительные поисковые эксперименты показали, что данный тип измельчителя хорошо подходит для измельчения угля, что может быть применено в металлургическом производстве при приготовлении коксика (измельчённого кокса), входящего в состав лётной массы для заделки выпускных каналов доменных печей, который является обязательным компонентом в составе огнеупорного материала, обеспечивающим его затвердевание.

Данный принцип приготовления готового продукта может быть полезным в агломерационном производстве при выполнении химического анализа спечённого агломерата, когда требуется его предварительное тонкое измельчение.

Кроме того, подобное обеспечение движения мелющих тел может быть полезным в лакокрасочном производстве, где перетирание пигмента и растворителя осуществляется в бисерной мельнице — вертикально вытянутом трубчатом корпусе, наполненном

твёрдыми ферромагнитными телами, которые при взаимодействии друг с другом и сырьём интенсивно перетираются до необходимой величины и смешиваются с олифой.

Таким образом, предложенный электромагнитный способ измельчения материалов предполагает снижение затрат электроэнергии на диспергирование ввиду отсутствия дополнительных подвижных механических частей в виде трансмиссии и может быть применён в металлургии и химическом производстве.

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведённый анализ выявил возможность применения электромагнитного принципа измельчения материалов на этапе приготовления проб агло-

мерата для проведения химического анализа сырья для доменных печей.

Величина индукции магнитного поля, достигающая 0,084 Тл обеспечивает устойчивое активное взаимодействие мелких ферромагнитных тел и измельчаемого материала при объёме рабочей камеры 2,68 дм³, что позволяет получать готовый продукт на протяжении времени, не превышающем 7 мин.

Простота обслуживания и повышенная эффективность работы электромеханического измельчителя позволяют использовать его при получении сухих порошковых материалов, диспергировании в жидкой среде, например, в изготовлении красок в химической промышленности.

Библиографический список

1. Гончаров, Б. Ф. Подготовка шихтовых материалов к доменной плавке [Текст] / Б. Ф. Гончаров. — М. : Металлургия, 1967. — 187 с.
2. Жилкин, В. П. Производство агломерата, оборудование, автоматизация [Текст] / В. П. Жилкин, Д. Н. Доронин. — Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2004. — 292 с.
3. Гребеник, В. М. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование фабрик окискования и доменных цехов [Текст] : учебн. для вузов / В. М. Гребеник, Д. А. Сторожик, Л. А. Демьянец и др. — К. : Выща школа, 1985. — 312 с.
4. Масалимов, А. В. Разработка системы контроля химического состава агломерата в режиме реального времени [Текст] / А. В. Масалимов, Е. В. Ушерова, П. Ю. Шаранов и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2016. — № 9. — Т. 82. — С. 26–30.
5. Королев, П. П. Современное дробильно-измельчительное оборудование для приготовления аналитических проб горнорудных материалов [Текст] / П. П. Королев, Э. П. Левченко // Комплексное освоение техногенных месторождений: сборник тезисов докладов всесоюзной научно-практической конференции. — Челябинск, 1990. — С.104–105.
6. Волков, В. С. Разработка ресурсо- и энергосберегающего электромагнитного способа механоактивации витаминизированной биологически активной кормовой добавки [Текст] : дис. ... к-та техн. наук : 05.20.02 / Волков Владимир Сергеевич ; Санкт-Петербургский государственный аграрный ун-т. — СПб, 2014. — 179 с.
7. Пат. № 87222 України, МПК (2006.01) H02K 41/025, B01F 13/08. Електромеханічний пристрій багатofакторної дії для обробки матеріалів / Н. Н. Заблодський, М. А. Філатов, В. Ф. Шинкаренко и др. — № 210310641 ; заявл. 03.09.13 ; опубл. 27.01.14, Бюл. № 2. — 4 с.
8. Заблодский, Н. Н. Моделирование электромагнитного поля электродинамического дезинтегратора [Текст] / Н. Н. Заблодский, М. А. Филатов, В. Ю. Грицюк // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2013. — Вып. 39. — С. 221–226.
9. Филатов, М. А. Оценка возможности использования электромеханического дезинтегратора в технологии приготовления водоугольного топлива [Текст] / М. А. Филатов, В. Ю. Грицюк, В. В. Лысак // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — Вып. 37. — С. 325–329.

© Филатов М. А., Левченко Э. П., Карпук И. А., Кашеев А. В.

© Зубков В. Е.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,
д.т.н., проф., зав. каф. АТ ЛНУ им. В. Даля Замотой Т. Н.*

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

**Філатов М. А., к.т.н. Левченко Е. П., к.т.н. Карпук І. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР),
д.т.н. Зубков В. Є. (м. Луганськ, ЛНР), Кашчєєв А. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)**
**ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СПОСІБ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА ЙОГО
ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПРОБОПРИГОТУВАННЯ В АЛОМЕРАЦІЙНОМУ
ВИРОБНИЦТВІ**

Розглянуто можливості безтрансмисійного забезпечення руху молоткових тіл в електромагнітному подрібнювачі та його особливості для приготування проб в агломераційному виробництві. Показано картину розподілу векторного магнітного потенціалу в активній зоні робочої камери пристрою.

Ключові слова: електромагнітний подрібнювач, молоткові тіла, магнітне поле, робоча камера, енергоефективність.

Filatov M. A., PhD in Engineering Levchenko E. P., PhD in Engineering Karpuk I. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR), Zubkov V. E. (Lugansk, LPR), Kashcheev A. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)
**ELECTROMAGNETIC METHOD OF GRINDING MATERIALS AND ITS USING FOR
SAMPLE PREPARATION IN SINTERING**

There have been examined the possible steps for transmission-free motion of grinding bodies in the electromagnetic grinder and its features for preparing the samples in sintering. The pattern for distribution the magnetic vector potential in the active core of operating chamber of the unit is shown.

Key words: electromagnetic grinder, grinding bodies, magnetic field, operating chamber, energy efficiency.

**СТРОИТЕЛЬСТВО
И АРХИТЕКТУРА**

**БУДІВНИЦТВО
І АРХІТЕКТУРА**

**CIVIL ENGINEERING
AND ARCHITECTURE**

УДК 669.056.9:69.059.25

к.т.н. Будзило Е. Е.,

к.г.н. Горовая Н. А.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, dongtu2250@mail.ru)

К ВОПРОСУ КАЧЕСТВЕННОГО ПРОВЕДЕНИЯ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ (НА ПРИМЕРЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ОКРАСКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ КОПРА ШАХТЫ им. С. ТЮЛЕНИНА ГУП ЛНР «УГЛЕРЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ»)

Работа посвящена анализу качества подготовки поверхности при выполнении отделочных ремонтных работ по покраске металлоконструкций. Установлена связь между качеством подготовки поверхности и эксплуатационной надёжностью покрытия. Предложена усовершенствованная конструкция радиальной щётки, позволяющая улучшить качество подготовительных работ.

Ключевые слова: ремонтные отделочные работы, подготовка поверхности, качество работ, радиальная щётка, дефекты окрасочного слоя.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. При эксплуатации любых объектов с течением времени ухудшается их эксплуатационная надёжность, что вызывает необходимость проведения различных ремонтных работ.

Покраска металлоконструкций является одним из наиболее распространённых видов ремонтных отделочных работ промышленных объектов, так как нарушение лакокрасочных покрытий приводит к коррозии конструкций и, соответственно, к неспособности элементов со временем воспринимать действующие усилия. От качественного выполнения таких работ зависит не только надёжная защита объектов, но и их внешний вид. Поэтому окрашивание металлических поверхностей должно проводиться с соблюдением всех технологических требований, к которым относятся тщательная подготовка основания, нанесение грунтовочных и окрасочных слоёв [1].

Постановка задачи. Задачей исследования является совершенствование существующих рекомендаций по выполнению подготовительных работ для окраски металлических поверхностей. Данные работы являются наиболее ответственным этапом проведения ремонтных отделочных работ по окраске, так как устранить воз-

никшие дефекты после нанесения окрасочного слоя невозможно. Для исправления придётся заново очищать поверхность и перекрашивать.

Объект исследования — копер ВОК шахты им. С. Тюленина ГУП ЛНР «Углереструктуризация».

Предмет исследования — металлоконструкции шахтного копра.

Изложение материала и его результаты. В результате обследования металлических конструкций копра, проводимого в соответствии с требованиями [2] при дневном освещении, температуре воздуха +18 °С и сухой погоде, были выявлены следующие дефекты:

- отслаивание лакокрасочного покрытия: самопроизвольное отделение некоторых участков от окрашиваемой поверхности (рис. 1);
- растрескивание лакокрасочного покрытия (образование разрывов) вследствие нанесения эмали на незачищенную поверхность;
- некачественно зачищенные участки конструкций (рис. 2);
- проявление ржавчины на лакокрасочном покрытии (рис. 3);
- элементы конструкций, на которых уже отсутствует лакокрасочное покрытие (рис. 4).



Рисунок 1 Отслаивание лакокрасочного покрытия



Рисунок 2 Незачищенные участки конструкций копра, по которым проводилось окрашивание



Рисунок 3 Проявление ржавчины на поверхности



Рисунок 4 Элементы конструкций, на которых уже отсутствует лакокрасочное покрытие

Обследование проводилось через год после выполнения ремонтных отделочных работ по окраске. В результате выявлено, что очистка поверхности была выполнена некачественно, о чём свидетельствует отслоение краски, наличие элементов конструкций без краски, проступившая ржавчина и т. д. Связано это с тем, что очистка поверхности выполнялась металлическими щётками вручную при большом объёме работ. Эксплуатационный срок службы окрашенных поверхностей, который составляет в среднем 5 лет, не будет выдержан.

Вообще, существуют ручные и механизированные способы подготовки металлических поверхностей к окрашиванию.

Выбор того или иного способа подготовки поверхности предопределяется следующими факторами:

- требуемым уровнем подготовки поверхности;
- видом лакокрасочного покрытия;
- состоянием окрашиваемой поверхности (наличие ранее нанесённых покрытий);
- требуемой эксплуатационной долговечностью покрытия;
- наличием механизмов, инструментов, приспособлений;
- квалификацией рабочих, выполняющих ремонтные работы;
- доступностью поверхностей;
- соответствием условиям безопасности труда и охраны окружающей среды;
- экономической целесообразностью.

Ручным способом (металлическими щётками) невозможно полностью очистить поверхность из-за неравномерного распределения ржавчины, что и подтвердили результаты проведённого обследования.

При механических способах, к которым относятся пескоструйный, гидроабразивный (гидропескоструйный), дробеструйный, дробемётный, очистка пламенем и т. д., можно добиться более качественного результата. Однако применение данных вариантов очистки поверхности при работе на высоте является нецелесообразным из-за громоздко-

сти оборудования, что значительно усложняет проведение работ, и их большой стоимости. Их выполнение требует наличия высококвалифицированных специалистов.

В данном случае наиболее приемлемым является использование механизированного способа, при котором очистка поверхности выполняется с использованием вращающихся проволочных щёток, дисков, зачистных молотков с электро- или пневмоприводом, игольчатых пистолетов, шлифовальных кругов и т. д.

Конструкция вращающихся проволочных щёток, как наиболее часто используемых для очистки поверхностей, представляет собой зажимающиеся между двумя дисками или закреплённые на цилиндрическом остоле ворсовые элементы [3].

С целью повышения эксплуатационной надёжности и долговечности инструмента, а также для выполнения более качественной очистки поверхности авторами была разработана радиальная щётка цилиндрической формы [4] с U-образными пучками ворсовых элементов (см. рис. 5) и кольцевой камерой для пластичного смазочного материала. Щётка состоит из направляющей втулки 1 и сопряжённых с нею прижимных фланцев (верхний — 2, нижний — 3). Для образования гнёзд под установку ворсовых элементов 4 коаксиально к фланцам устанавливаются волнообразные кольца 5 и 6. При этом выступ одного кольца располагают под впадиной другого. Прижимные фланцы 2 и 3 с втулкой 1 образуют кольцевую камеру 7, которая заполняется пластичным смазочным материалом. Кольцевая камера по периферии и свободные по длине концы ворсовых элементов покрыты защитной оболочкой 8 с содержанием кремниевой пыли. Включение кремниевой пыли позволяет улучшить качество обрабатываемой поверхности. В верхнем прижимном фланце имеется отверстие для заполнения кольцевой камеры пластичным смазочным материалом, которое закрывается пробкой 9.

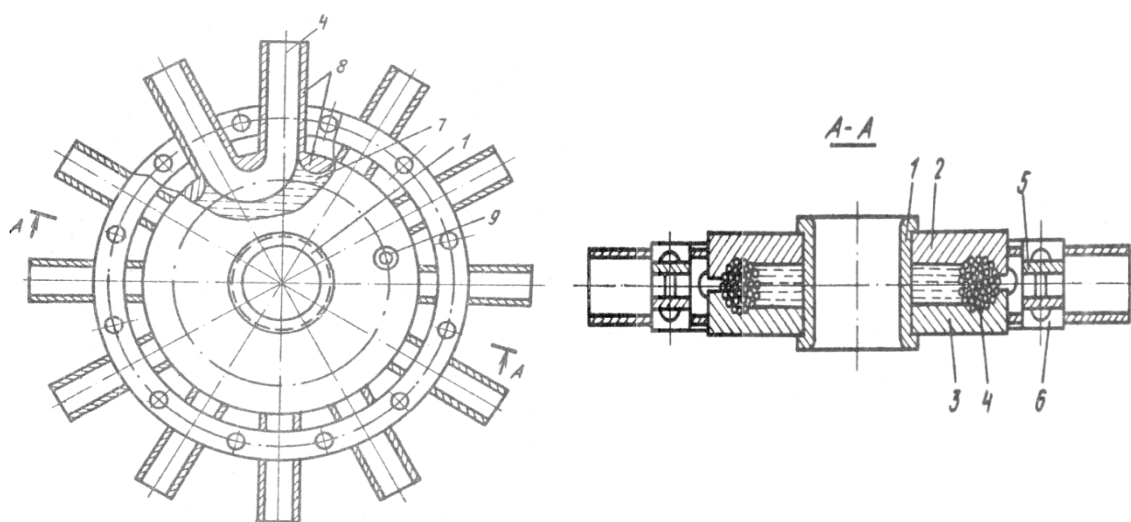


Рисунок 5 Схема радиальной щётки цилиндрической формы с U-образными пучками ворсовых элементов и кольцевой камерой для пластичного смазочного материала

Перед началом работы пресс-шприцем через маслѐнку в кольцевую камеру нагнетается пластичный смазочный материал. Незначительный его объѐм и большая скорость вращения щѐтки не позволяют замаслить обрабатываемую поверхность. По мере нагрева щѐтки от трения ворсовых элементов по обрабатываемой поверхности тепло передаѐтся на кольцевую камеру и пластичный смазочный материал нагревается. В результате вследствие центробежных сил пластичный материал нагнетается в зазоры между проволоками ворсовых элементов. Это обеспечивает периодическое нанесение плѐнки на поверхность проволочек внутри ворсовых элементов и защищает их от коррозии. Изгиб ворсовых элементов во время контакта с обрабатываемой поверхностью вызывает взаимное смещение проволочек. Наличие полусухого и жидкого трения между проволочками снижает истирание поверхностей, что значительно повышает долговечность инструмента. Цилиндрическая форма щѐтки и незначительный её вес (0,6–0,8 кг — в зависимости от диаметра втулки) позволяют легко зачищать различные элементы металлических конструкций (стойки, укосины и т. д.).

Для облегчения работы по зачистке полок уголков авторами предлагается усовершенствованная конструкция радиальной щѐтки

цилиндрической формы с U-образными пучками ворсовых элементов. В данной щѐтке увеличена на 30–40 мм длина ворсовых элементов, что позволяет с меньшим усилием производить работы по подготовке поверхностей к окраске стыков полок уголков — одного из основных элементов шахтных копров. Для предотвращения повреждения ворсовых элементов их необходимо зафиксировать в области остова хомутовым соединением при помощи заклѐпок или болтов на длину увеличения. Именно увеличение размера ворсовых элементов позволит выполнять работы с меньшим усилием и в труднодоступных местах.

Выводы:

1. Выявлены дефекты, которые возникают в результате некачественной подготовки поверхности к окрашиванию.

2. Проведѐн анализ различных способов очистки поверхности при выполнении ремонтных отделочных работ. При больших объѐмах работ наиболее целесообразным является применение механизированных инструментов.

3. Даны рекомендации по использованию разработанной авторами радиальной щѐтки цилиндрической формы с U-образными пучками ворсовых элементов для более качественной подготовки поверхности к

окрашиванию. Наличие кольцевой камеры для пластичного смазочного материала между прижимными фланцами значительно повышает срок эксплуатации инструмента. Включение кремниевой пыли на ворсовых элементах позволяет улучшить качество обрабатываемой поверхности.

4. Предложена усовершенствованная конструкция радиальной щётки цилиндрической формы с U-образными пучками ворсовых элементов для улучшения очистки труднодоступных участков.

Библиографический список

1. ГОСТ 9.402–2004. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию [Текст]. — Введ. 2006-01-01. — М. : Стандартинформ, 2006. — 43 с.
2. ГОСТ 9.407–2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида [Текст]. — Введ. 2016-01-03. — М. : Стандартинформ, 2015. — 43 с.
3. Механические методы подготовки поверхности [Электронный ресурс]. — Режим доступа: pereonasika.ru/articles/mechanicheskie-metody-podgotovki-poverkhnosti.
4. А. с. 927224 СССР, МПК А 46 В 3/16. Щётка / Г. И. Мозговой, В. С. Емец, Е. Е. Будзило. — № 4186525/31-12 ; заявл. 26.01.87 ; опубл. 30.07.88, Бюл. 28. — 3 с. : ил.

© Будзило Е. Е.

© Горовая Н. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ПГС и АИ СА и ЖКХ ЛНУ им. В. Даля Дроздом Г. Я., к.т.н., доц. каф. ГСХ ДонГТУ Долголаптевым В. М.

Статья поступила в редакцию 01.11.19.

к.т.н. Будзило О. Є., к.г.н. Горова Н. А. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР, dongtu2250@mail.ru)

ДО ПИТАННЯ ЯКІСНОГО ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНИХ ОЗДОБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ (НА ПРИКЛАДІ ОБСТЕЖЕННЯ ПОФАРБУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ КОПРА ВВК ШАХТИ ім. С. ТЮЛЕНІНА ДУП ЛНР «ВУГЛЕРЕСТРУКТУРІЗАЦІЯ»)

Роботу присвячено аналізу якості підготовки поверхні при виконанні оздоблювальних ремонтних робіт з фарбування металоконструкцій. Встановлено зв'язок між якістю підготовки поверхні та експлуатаційною надійністю покриття. Запропоновано вдосконалену конструкцію радіальної щітки, що дозволяє поліпшити якість підготовчих робіт.

Ключові слова: ремонтні оздоблювальні роботи, підготовка поверхні, якість робіт, радіальна щітка, дефекти фарбувального шару.

PhD in Engineering Budzilo E. E., PhD in Geological Sciences Gorovaia N. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR, dongtu2250@mail.ru)

THE QUESTION OF QUALITATIVE FINISHING WORK (ON THE EXAMPLE OF SURVEYING THE PAINTING OF METAL STRUCTURES OF PITHEAD DRAINAGE OF MINE NAMED AFTER S. TYULENIN SUE LPR “UGLERESTRUKTURIZATIA”)

The paper is dedicated to analyzing the quality of surface preparation at performing finishing remedial work on painting metal structures. The connection between the quality of surface preparation and serviceability of coating is determined. An improved design of the radial brush is proposed, which allows to improve the quality of preparatory work.

Key words: remedial finishing works, surface preparation, quality of work, radial brush, defects of the paint layer.

УДК 727.57:669.86.003.13(001.24)

к.т.н. Николаева Е. К.,
к.т.н. Гречишкина Е. В.

ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЛАБОРАТОРНОГО КОРПУСА ДонГТУ

Рассмотрены варианты решения проблемы существующих нарушений микроклиматических норм. Приведены результаты теоретических исследований, в ходе которых получены фактические значения сопротивления теплопередаче существующей наружной стены и модернизированной наружной стены с утеплителем.

Ключевые слова: микроклимат, тепловой комфорт, утеплитель, теплоизоляция, наружная стена.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. 12 февраля 2018 г. на проходящем в Дубае VI Всемирном правительственном саммите шести стран было объявлено о создании Глобальной коалиции счастья. С этого дня термин «счастье» стал одним из важнейших критериев и целей работы государственных органов разного уровня.

Данное на саммите определение счастья подразумевает, что люди должны жить комфортно и благополучно, пользоваться достижениями технического прогресса и вносить собственный ощутимый вклад в формирование счастливого и благостного будущего всего мира.

Понятие физиологического комфорта с позиций гигиены означает создание наиболее благоприятного микроклимата жизненной среды, обеспечивающего человеку, по словам физиолога И. П. Павлова, «высшее уравновешивание с внешней средой».

Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения. Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола рабочего места. При этом нормируются температура (°C), относительная влажность (%) и скорость движения воздуха (м/с) [1, 2].

Кроме показателей микроклимата нормы учитывают особенности профессиональной деятельности и характеристики внешней среды:

1) время года: холодный и переходный (+10 °C и ниже), тёплый (+10 °C и выше) периоды;

2) категория работ: лёгкие, средней тяжести и тяжёлые;

3) характеристика помещения по теплоизбыткам: помещения с незначительными избытками явного тепла — 20 ккал/м³·ч и менее и со значительными избытками — более 20 ккал/м³·ч.

Классификация работ по категории тяжести определяется по затрачиваемой работниками энергии и приведена в приложении 1 к СанПиН 2.2.4.3359–16 [1]. Так, работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением, относятся к категории Ia. А работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением — к категории Ib.

Центральной проблемой создания оптимального микроклимата является тепловой режим.

В целях защиты работников от возможного переохлаждения при температуре воздуха в рабочих зонах ниже допустимых величин время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено (табл. 1).

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 1

Время пребывания на рабочих местах при температурах ниже допустимых величин [1]

| Температура воздуха на рабочем месте, °С | Время пребывания, не более, при категориях работ, ч | |
|--|---|----|
| | Ia | Iб |
| 6 | - | - |
| 7 | - | - |
| 8 | - | - |
| 9 | - | - |
| 10 | - | - |
| 11 | - | - |
| 12 | - | 1 |
| 13 | 1 | 2 |
| 14 | 2 | 3 |
| 15 | 3 | 4 |
| 16 | 4 | 5 |
| 17 | 5 | 6 |
| 18 | 6 | 7 |
| 19 | 7 | 8 |
| 20 | 8 | - |

Аудитории и кафедры учебных заведений в соответствии с ГОСТ 30494–2011 [2] относятся к помещениям 2-й категории: помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учёбой. Оптимальная температура воздуха для них составляет 19–21 °С. Работа сотрудников и студентов в лабораториях связана, как правило, с незначительным физическим напряжением. Следовательно, лаборатории могут быть отнесены по уровню энергозатрат к категории помещений Ia или Ib [1]. В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359–16 [1] для помещений этой категории оптимальная температура воздуха составляет 22–24 °С.

Замеры температуры в помещениях лабораторного корпуса ДонГТУ в холодный период показали, что температура воздуха опускается ниже допустимых норм (до 15 °С), что далеко не комфортно и не благополучно. Поэтому, с учётом данных таблицы 1, можно сделать вывод, что в холодный период года необходимо сокращать время рабочего дня сотрудников лабораторного корпуса. Эти меры вызваны

тем фактом, что снижение температуры приводит к ухудшению самочувствия и снижению работоспособности, влияет на качество рабочего процесса и состояние здоровья вследствие усиленного напряжения механизмов терморегуляции [1].

В противном случае необходимо довести параметры микроклимата до нормативных величин при сохранении продолжительности рабочего времени.

Постановка задачи. Бездействие, связанное с несоблюдением санитарных правил, признаётся санитарным правонарушением [1]. Поэтому авторами были поставлены следующие задачи: исследовать причины нарушений показателей микроклимата учебных аудиторий в зимнее время и предложить эффективные меры по их нормализации, что создаст комфортные условия для учебного процесса.

Микроклимат в помещении формируется под влиянием внешнего климата, тепловыделений организма человека, функциональных процессов, а также климатообразующих качеств здания. Архитекторы и строители на сегодняшний день могут повлиять только на четвёртый в этом перечне фактор.

В свою очередь, на климатообразующие качества зданий влияют:

- совокупность планировочных решений;
- теплотехнические свойства ограждающих конструкций;
- инженерное оборудование.

При этом планировочное решение уже существующего здания относится к неизменяемым факторам. Использование дополнительного инженерного оборудования, например масляных обогревателей, для формирования теплового комфорта требует не только единовременных материальных затрат на его приобретение, но и постоянных затрат на оплату электроэнергии [3]. Поэтому наиболее перспективным и экономичным вариантом оптимизации тепловой обстановки аудиторий и лабораторий в зимнее время является улучшение теплотехнических свойств ограждающих конструкций — термомодернизация наружных стен.

Изложение материала и его результаты. Для решения поставленных задач необходимо выполнить расчёты по определению фактического значения сопротивления теплопередаче существующей наружной стены и теоретического значения приведённого сопротивления теплопередаче стен с утеплителем, а также выбрать оптимальный материал для утепления.

Величина требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП) района строительства и назначения здания.

Величина градусо-суток отопительного периода для г. Алчевска составляет:

$$\begin{aligned} \text{ГСОП} &= (t_g - t_{om}) \cdot z_{om} = \\ &= (20 - (-0,8)) \cdot 172 = 3578, \end{aligned}$$

где t_g — расчётная температура внутреннего воздуха здания, °C; t_{om}, z_{om} — средняя температура наружного воздуха (°C) и продолжительность (сут) отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 °C.

Тогда требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$\begin{aligned} R_o^{\text{тр}} &= \text{ГСОП} \cdot a + b = \\ &= 3578 \cdot 0,0003 + 1,2 = 2,27 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \end{aligned}$$

где a и b — переводные коэффициенты, для стен общественных зданий соответственно равны 0,0003 и 1,2.

Расчётные теплотехнические показатели строительных материалов конструкции наружных стен лабораторного корпуса ДонГТУ приняты в зависимости от условий эксплуатации по приложению Д [5]:

1) кладка из шлакобетонных камней: толщина слоя 390 мм, объёмный вес не более 2200 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,3–0,5 Вт/(м·°C);

2) штукатурка известково-песчаным раствором: толщина слоя 20 мм, объёмный

вес 1600 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,7 Вт/(м·°C).

Тогда термическое сопротивление конструкции с последовательно расположенными слоями:

$$\begin{aligned} R_k &= \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \\ &= \frac{0,39}{0,4} + \frac{0,02}{0,7} = 1,004 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \end{aligned}$$

где δ_i — толщина слоя, м; λ_i — коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·°C).

Сопротивление теплопередаче наружной стены R_o с учётом коэффициентов теплоотдачи [6] наружной и внутренней поверхностей составит

$$\begin{aligned} R_o &= \frac{1}{\alpha_g} + R_k + \frac{1}{\alpha_n} = \\ &= \frac{1}{8,7} + 1,004 + \frac{1}{23} = 1,163 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \end{aligned}$$

где α_g — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м·°C); α_n — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций для условий холодного периода, Вт/(м·°C).

Конструкция кладки кроме легкогобетонных камней включает горизонтальные и вертикальные швы из цементно-песчаного раствора. Поэтому расчёт приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены выбранной конструкции производится с учётом её теплотехнической неоднородности:

$$R_o^r = R_o \cdot r = 1,16 \cdot 0,95 = 1,1 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}},$$

где r — коэффициент теплотехнической неоднородности конструкции, для сплошной кладки из полнотелых камней $r=0,95$ [7].

Таким образом, существующее конструктивное решение наружной стены лабораторного корпуса ДонГТУ категорически не удовлетворяет требованиям энергосбережения, поскольку R_o меньше более чем в 2 раза:

$$R_o = 1,1 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} < R_o^{\text{тр}} = 2,27 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Одним из решений этой проблемы является улучшение теплоизоляционных характеристик наружных стен путём устройства непрветриваемого фасада, который включает следующие слои: стена, утеплитель, крепёжный элемент, армирующий слой, грунтовой и выравнивающий штукатурные слои, а затем отделочная известково-цементная штукатурка.

В качестве утеплителя рассмотрены два материала — пенопласт и минеральная вата со следующими теплотехническими показателями:

1) пенопласт: объёмный вес 25 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности $0,041 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$;

2) минеральная вата: объёмный вес $30\text{--}40 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $0,045 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

Для определения необходимой толщины пенопласта находим термическое сопротивление утеплителя:

$$\begin{aligned} R_{\text{ут}}^{\text{тр}} &= R_o^{\text{тр}} - (R_e + R_n + R_k) = \\ &= 2,27 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,39}{0,4} \right) = \\ &= 1,108 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \end{aligned}$$

где $R_e = \frac{1}{\alpha_e}$ — сопротивление теплообмену на внутренней поверхности; $R_n = \frac{1}{\alpha_n}$ — сопротивление теплообмену на наружной поверхности, α_n принимается по таблице 6 [5] для наружных стен; R_k — сумма термических сопротивлений всех слоёв стены без слоя утеплителя.

Тогда необходимая расчётная толщина пенопласта составит

$$\delta_{\text{ут}}^{\text{тр}} = \lambda_{\text{ут}} \cdot R_{\text{ут}}^{\text{тр}} = 0,041 \cdot 1,108 = 0,045 \text{ м},$$

где $\lambda_{\text{ут}}$ — коэффициент теплопроводности утеплителя (пенопласта), $\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

С учётом промышленных размеров пенопласта принимаем толщину этого утеплителя 50 мм. Тогда сопротивление теплопередаче наружной стены составит

$$\begin{aligned} R_o &= (R_e + R_n + R_k) = \\ &= \left(\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,39}{0,4} + \frac{0,05}{0,041} \right) = \\ &= 2,382 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}; \end{aligned}$$

$$R_o = 2,382 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} > R_o^{\text{тр}} = 2,27 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Таким образом, для утепления пенопластом наружных стен лабораторного корпуса с целью нормализации тепловой обстановки учебного процесса в зимнее время достаточно толщины 50 мм.

Для сопоставительного анализа вариантов утепления толщина минеральной ваты принята 50 мм. Тогда термическое сопротивление теплопередаче с учётом этого утеплителя составит

$$\begin{aligned} R_o &= (R_e + R_n + R_k) = \\ &= \left(\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,39}{0,4} + \frac{0,05}{0,045} \right) = \\ &= 2,273 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}; \end{aligned}$$

$$R_o = 2,273 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \approx R_o^{\text{тр}} = 2,27 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Сопоставление термического сопротивления теплопередаче наружной стены при утеплении пенопластом и минеральной ватой показывает, что применение пенопласта эффективнее на 4 %.

Выводы:

1. Увеличение термического сопротивления наружных стен лабораторного корпуса является актуальной задачей повышения энергетической эффективности рассматриваемого здания с целью создания в нём комфортных температурно-влажностных условий для процесса обучения.

2. Проведены расчёты энергетической эффективности применения двух видов теплоизоляционных материалов для утепления фасадов лабораторного корпуса. Получены теоретические данные сопротивления теплопередаче стены с утеплителем из пенопласта и минеральной ваты. Установлено, что при одинаковой толщине сопоставляемых утеплителей пенопласт даёт более высокие показатели термического сопротивления теплопередаче по сравнению с минеральной ватой (на 4 %):

$$R_{o \text{ (пен.)}} = 2,382 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}},$$

тогда как у минеральной ваты

$$R_{o \text{ (мин.в.)}} = 2,273 \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}.$$

Следовательно, при использовании пенопласта температура в помещении будет больше, чем при утеплении лёгкой минеральной ватой.

3. Проведённый сравнительный анализ теплотехнических параметров двух вариантов наружного утепления показал, что утепление фасадов лабораторного корпуса целесообразно выполнять пенопластом. Это приведёт к значительному увеличению посещаемости занятий студентами в зимнее время и снизит риски заболеваемости простудными заболеваниями. А покрытие пенопласта тонким защитным слоем штукатурки придаст зданию более эстетичный вид.

Библиографический список

1. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [Текст]. — Введ. 2017-01-01. — М., 2016. — 72 с.
2. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Текст]. — Введ. 2013-01-01. — М.: Стандартинформ, 2013. — 11 с.
3. Глушкіна, І. К. Аналіз мікроклімату приміщень. Теплотехнічний розрахунок стін як гарант забезпечення сприятливого мікроклімату [Текст] / І. К. Глушкіна, Е. В. Гречишкіна, Е. К. Николаева // Сборник научных работ студентов ДонГТУ. — Алчевск: ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — Вып. 11, ч. I. — С. 344–348.
4. СНиП 23-01–99*. Строительная климатология [Текст]. — Введ. 2000-01-01. — М., 2003. — 58 с.
5. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. — Введ. 2004-06-01. — М., 2004. — 186 с.
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [Текст]. — Введ. 2012-01-01. — М.: Аналитик, 2012. — 96 с.
7. СТО 00044807-001–2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий [Текст]. — М., 2006. — 67 с.

© Николаева Е. К.

© Гречишкіна Е. В.

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

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

к.т.н. Ніколаєва О. К., к.т.н. Гречишкіна О. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ЗОВНІШНІХ СТІН ЛАБОРАТОРНОГО КОРПУСУ ДонДТУ

Розглянуто варіанти вирішення проблеми існуючих порушень мікрокліматичних норм. Наведено результати теоретичних досліджень, в ході яких отримано фактичні значення опору теплопередачі існуючої зовнішньої стіни і модернізованої зовнішньої стіни з утеплювачем.

Ключові слова: мікроклімат, тепловий комфорт, утеплювач, теплоізоляція, зовнішня стіна.

PhD in Engineering Nikolaieva E. K., PhD in Engineering Grechishkina E. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

THERMOMODERNIZATION OF THE OUTER WALLS OF THE LABORATORY BUILDING OF DonSTU

The variants of solving the problem of existing violations of microclimatic norms are considered. The results of theoretical studies are presented, during which the actual values of the heat transfer resistance of the existing outer wall and the improved outer wall with insulation are obtained.

Key words: *microclimate, thermal comfort, insulation, heat insulation, outer wall.*

**МАШИНОСТРОЕНИЕ
И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

**МАШИНОБУДУВАННЯ
ТА МАШИНОЗНАВСТВО**

**MECHANICAL ENGINEERING
AND MACHINE SCIENCE**

УДК 669.18.046

д.т.н. Еронько С. П.,
к.т.н. Ткачёв М. Ю.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР),
Понамарёва Е. А.
(ООО «Горловский энергомеханический завод», г. Горловка, ДНР),
д.т.н. Сидоров В. А.,
к.т.н. Ошовская Е. В.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ОГНЕУПОРАМИ КОВШОВОГО ЗАТВОРА В ПРОЦЕССЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований процесса поглощения упругих волн, возбуждаемых пневматическим вибратором направленного действия и распространяющихся в огнеупорных элементах шиберного затвора разливочного ковша вдоль его сталевыпускного канала. Полученная информация послужит основой при расчёте и конструировании системы, обеспечивающей снижение интенсивности отложений частиц на поверхностях керамических изделий, контактирующих с потоком истекающей из ковша стали.

Ключевые слова: разливочный ковш, шиберный затвор, затягивание сталевыпускного канала, вибрационное воздействие, поглощение упругой волны.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Проблема затягивания сталевыпускных каналов ковшей, оборудованных скользящими затворами, с которой приходится сталкиваться рабочему персоналу сталеплавильных и литейных цехов, по-прежнему остаётся нерешённой, несмотря на проводившиеся за последние 20 лет научно-исследовательские работы, направленные на установление и устранение негативного действия факторов, способствующих уменьшению живого сечения потока при шиберной разливке стали.

Принято считать, что главная причина и механизмы формирования отложений на стенках каналов ковшовых затворов в первую очередь обусловлены протекающими в них во время разливки гидродинамическими, тепловыми и химическими процессами [1]. В связи с этим специалисты предлагали различными способами оказывать влияние на интенсивность развития отмеченных процессов [2–6] и тем самым устранять сужение проходного сечения выпускного канала ковша (минимизация гидравлического сопротивления потока стали,

нанесение на стенки канала специального антиклоггингового покрытия, применение внутреннего и наружного обогрева корпуса разливочного стакана). Такой подход, как показала практика, не всегда гарантировал достижение ожидаемого результата, поскольку предназначенные меры являлись избирательными, так как каждая из них могла влиять на один из учитываемых факторов. В реальных условиях отложение слоёв частиц на контактирующих с жидким металлом поверхностях огнеупорных изделий ковшового затвора может быть итогом комплексного воздействия этих факторов. Поэтому логично предположить, что в этом случае следует инициировать такие условия взаимодействия на границе раздела «огнеупор – жидкий металл», которые будут способствовать разрушению зарождающихся связей между поверхностью канала и частицами отложений вне зависимости от природы их возникновения.

На основании результатов ранее выполненных авторами модельных исследований для этой цели предложено применить направленное вибрационное воздействие

на огнеупорную часть системы ковшового затвора [7, 8].

Предварительная конструктивная проработка такого технического решения показала, что эффективность его промышленного применения в значительной мере будет зависеть от того, насколько вибратор, являющийся вспомогательным структурным элементом системы ковшового затвора, отвечает комплексу требований: компактность; простота и безопасность подвода к нему энергоносителя, необходимого для возбуждения низкочастотной вибрации; возможность гибкого регулирования параметров колебаний.

На основании данных сопоставительного анализа результатов испытаний трёх типов вибраторов (электромеchanического, пневматического и электромагнитного), проведённых в идентичных условиях, установлено, что в качестве возбудителя направленных колебаний, снижающих интенсивность развития процесса затягивания канала ковшового затвора, целесообразно использовать пневматический вибратор. Это обусловлено тем, что у современных ковшовых затворов кассетного типа для прижатия огнеупорных плит применяют блоки тарельчатых или витых пружин, в обязательном порядке охлаждаемых во время разливки стали воздухом, подаваемым по трубопроводу под давлением от цеховой магистрали. Поэтому этот воздух можно одновременно использовать в качестве энергоносителя для приведения в действие возбудителя колебаний ковшового затвора. Причём параметры колебательного процесса, реализуемого в системе шибберного затвора, удаётся легко регулировать путём изменения в известных пределах давления и расхода воздуха, подводимого к вибратору, а также выбирая соответствующую жёсткость его пружин [9].

Постановка задачи. Для эффективного вибрационного воздействия на процесс затягивания канала ковшового затвора, наряду с рациональными значениями параметров функционирования пневматиче-

ского вибратора, необходима также информация об изменении возбуждаемой им вынуждающей силы, действующей вдоль оси канала затвора.

Интенсивность снижения значений параметров возбуждаемых колебаний связана с поглощением упругих волн, проходящих как в однородной среде, так и на границе раздела разных сред.

В соответствии со сложившимися представлениями амплитуда A и интенсивность I волны, распространившейся в поглощающей среде вдоль оси, изменяются по экспоненциальному закону:

$$A(x) = A_0 e^{-2\alpha x}; \quad (1)$$

$$I(x) = I_0 e^{-2\alpha x}, \quad (2)$$

где A_0 и I_0 — амплитуда и интенсивность волны в точке $x=0$; α — линейный коэффициент поглощения упругих волн, зависящий от свойств среды и частоты волн.

Отсутствие в справочной литературе данных о значении коэффициента α для огнеупорных элементов, формирующих сталевыпускной канал разливочного ковша, а также сведений о том, в какой мере происходит угасание упругой волны при пересечении стыков контактирующих между собой керамических изделий ковшового затвора, является побудительным мотивом к проведению экспериментальных исследований с целью получения информации, необходимой для обоснования конструктивных и энергосиловых параметров устройств, обеспечивающих снижение интенсивности процесса затягивания канала шибберной системы.

Изложение материала и его результаты. Поскольку теоретическим путём получить зависимость, описывающую закон, по которому происходит изменение упругой волны по мере её распространения от источника возбуждения вдоль канала шибберного затвора, достаточно проблематично, поставленную задачу решали экспериментальным путём. Для этого спроектировали и изготовили пневматический вибра-

тор направленного действия, схема и внешний вид которого показаны на рисунке 1. Вибратор включает пустотелый цилиндрический корпус 8 с ввинченной в него крышкой 1 и резьбовым хвостовиком. Внутри корпуса размещён с возможностью относительного продольного перемещения сдвоенный поршень 4, удерживаемый в среднем положении частично сжатыми пружинами 7 и 3. В стенке пустотелого цилиндрического корпуса имеются два перепускных канала 10 и 2, а также два выпускных отверстия 9 и 6.

При подаче сжатого воздуха по трубопроводу 5 в среднюю часть рабочей полости он по каналу 10 поступает под сдвоенный поршень 4, который под воздействием давления перемещается вверх, сжимая пружину 3 и вытесняя находящийся под ним воздух через отверстие 9 в атмосферу. Вблизи своего крайнего положения сдвоенный поршень 4 перекрывает выпу-

сское отверстие 9 и перепускной канал 10 и одновременно открывает выпускное отверстие 6 и перепускной канал 2, в результате чего происходит реверсирование движения самого поршня. Под действием давления воздуха теперь уже на верхнюю часть поршня он перемещается вниз, сжимая пружину 7 и вытесняя воздух через отверстие 6 из полости в атмосферу. Достигнув своего нижнего положения, поршень открывает выпускное отверстие 9 и перепускной канал 10, т. е. начинает совершать колебания, частота и амплитуда которых зависит от давления воздуха и жёсткости пружин 7 и 3.

Эксперимент провели в два этапа. Вначале с помощью анализатора вибрации 795 М оценили снижение интенсивности колебательного процесса на разных частотах в зависимости от линейного размера огнеупорного элемента и упругих свойств его материала.

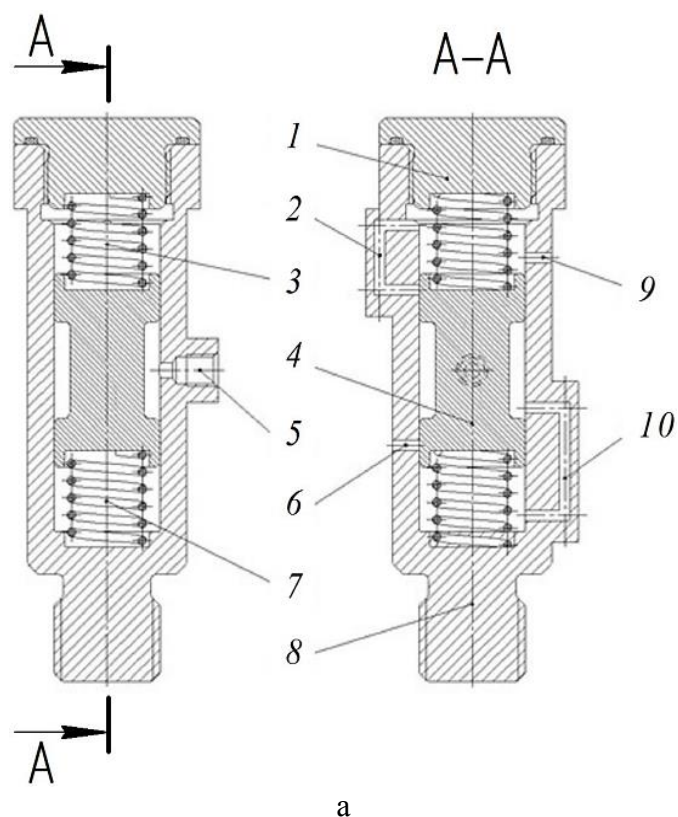


Рисунок 1 Конструктивная схема (а) и изготовленный образец (б) пневматического вибратора

Степень поглощения упругой волны при её прохождении через тело огнеупорного изделия, являющегося элементом керамической части шибера затвора, определяли по значению коэффициента затухания вибрационного сигнала, вычисленного по формуле [10]

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{н}}}{\alpha_{\text{в}}}, \quad (3)$$

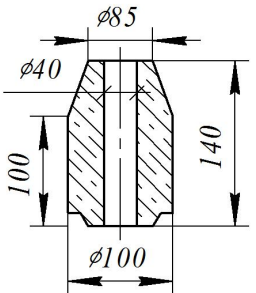
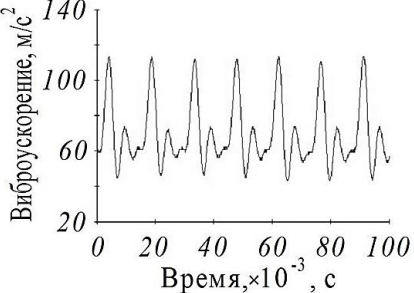
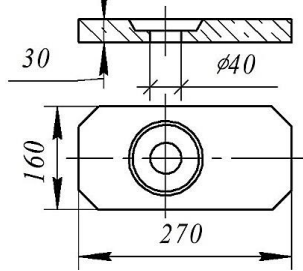
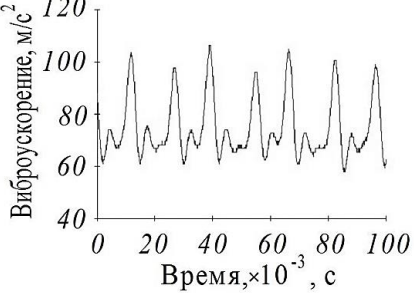
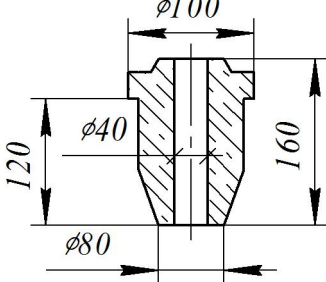
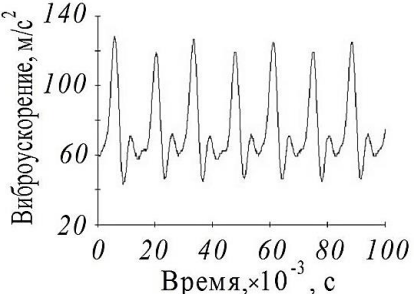
где $\alpha_{\text{н}}$ — значение виброускорения на заданной частоте колебаний, возбуждаемых пневматическим вибратором при его контакте с нижней поверхностью огнеупора;

$\alpha_{\text{в}}$ — значение виброускорения в точке контроля на верхней поверхности огнеупора.

В таблице 1 приведены геометрические параметры огнеупорных изделий шибера затвора и формы регистрировавшихся сигналов при контроле коэффициента затухания виброускорения во время поглощения упругой волны, когда возбуждаемое вибратором ускорение составляло $\alpha_{\text{н}} = 160 \text{ м/с}^2$. Полученная информация свидетельствует в пользу того, что коэффициент затухания вибрационного сигнала при прохождении через тело огнеупора в большей мере зависит от физических свойств его материала, чем от размера.

Таблица 1

Геометрические параметры огнеупоров затвора и вид сигналов, зарегистрированных при контроле виброускорения на их верхних поверхностях

| Огнеупорное изделие | Форма и размеры огнеупорного изделия | Вид зарегистрированного сигнала | Значение коэффициента α |
|-------------------------------|---|--|--------------------------------|
| Магнетитовый ковшовый стакан |  |  | 2,3 |
| Циркониевая плита |  |  | 4 |
| Магнетитовый стакан-коллектор |  |  | 2 |

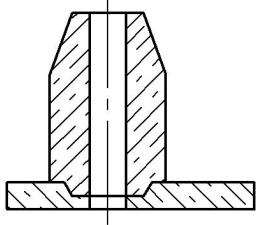
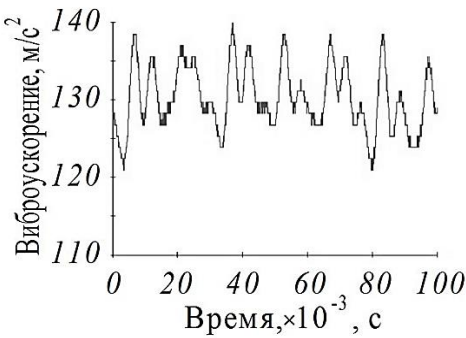
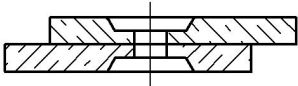
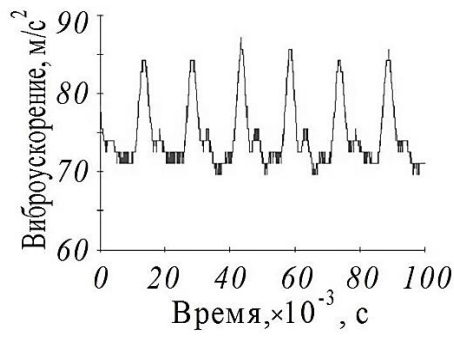
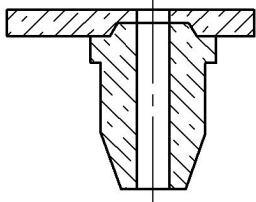
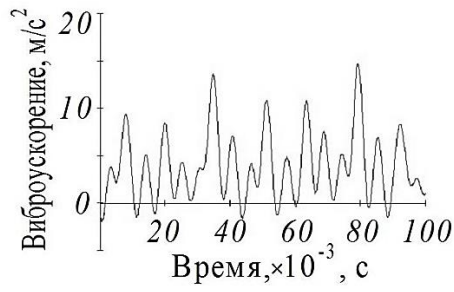
Второй этап проводившихся исследований был связан с получением данных о влиянии поверхностей раздела контактирующих между собой огнеупорных элементов затвора на степень ослабления виброускорения при прохождении упругой волны через зону их контакта.

Интересующую информацию получили следующим образом. Последовательно огнеупорные элементы попарно соединяли между собой, обеспечивая их сжатие с по-

мощью двух винтов с гайками в соответствии со схемами, приведёнными в таблице 2. При этом на нижний элемент оказывали вибрационное воздействие с заданными параметрами, а на свободной поверхности верхнего элемента с помощью анализатора вибрации 795 М фиксировали виброускорение и по его значению рассчитывали общий коэффициент затухания вибрационного сигнала α_0 .

Таблица 2

Вид сигналов, зарегистрированных при контроле виброускорения на паре огнеупоров

| Комбинация огнеупоров | Схема контакта двух огнеупорных элементов керамической части затвора | Вид зарегистрированного сигнала | Значение коэффициента $\alpha_{пр}$ |
|----------------------------------|---|--|-------------------------------------|
| Ковшовый стакан – верхняя плита |  |  | 1,03 |
| Верхняя плита – нижняя плита |  |  | 1,01 |
| Верхняя плита – стакан-коллектор |  |  | 1,54 |

Затем по полученному значению находили коэффициенты затухания виброускорения на границе раздела двух огнеупорных изделий, используя выражение

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{\alpha_0}{\alpha_1 \alpha_2}, \quad (4)$$

где α_1 и α_2 — значения коэффициентов затухания виброускорения для каждого из двух находящихся в контакте огнеупорных элементов.

Наряду с этим выполнили также эксперимент для оценки значений коэффициента ослабления вибросигнала при прохождении упругой волны через всю керамическую часть ковшового затвора. В этом случае комплект огнеупорных изделий с помощью двух стяжек фиксировали в штативе (фото на рис. 2) и всю собранную систему подвергали направленному вибровоздействию с различной интенсивностью.



Рисунок 2 Комплект огнеупоров затвора в собранном виде

Сопоставление значений общих коэффициентов затухания вибрационного сигнала при прохождении упругой волны через полный комплект огнеупоров ковшового затвора позволяет сделать заключение о том, что изменение интенсивности процесса колебаний, возбуждаемого вибратором в керамической части шиберной системы, не влияет на показатель ослабления энергии упругой волны. В качестве наглядного примера на рисунке 3 приведены распечатки сигналов, зафиксированных при двух режимах работы пневмовибратора (а и б) и отображающих значения виброускорения, измеренного на верхней торцевой поверхности ковшового стакана (в и г). В первом случае значение коэффициента затухания виброускорения составило 11,86, а во втором — 11,43, т. е. они практически были одинаковыми.

Как известно, требованиями действующих технических инструкций по эксплуатации шиберных затворов предусмотрено использование специальных паст для уплотнения стыков между контактными поверхностями огнеупорных плит с ковшовым стаканом и стаканом-коллектором. Наличие таких двух прослоек также будет в определенной мере влиять на интенсивность затухания упругих волн. Поэтому часть опытов провели с целью установления значимости такого влияния, для чего осуществляли измерения виброускорения во время прохождения упругой волны через два огнеупорных элемента, находящихся между собой в сжатом состоянии, при отсутствии и наличии уплотнительной прослойки в их фланцевых соединениях.

Результаты таких измерений позволили установить увеличение в 1,1–1,3 раза значения коэффициента затухания упругих волн, вызванное слоем уплотнительной пасты в зоне контакта стаканов с плитами.

Данные проведенных экспериментальных исследований использованы при обосновании параметров вибрационной системы усовершенствованного шиберного затвора, по которому подана заявка на предполагаемое изобретение.

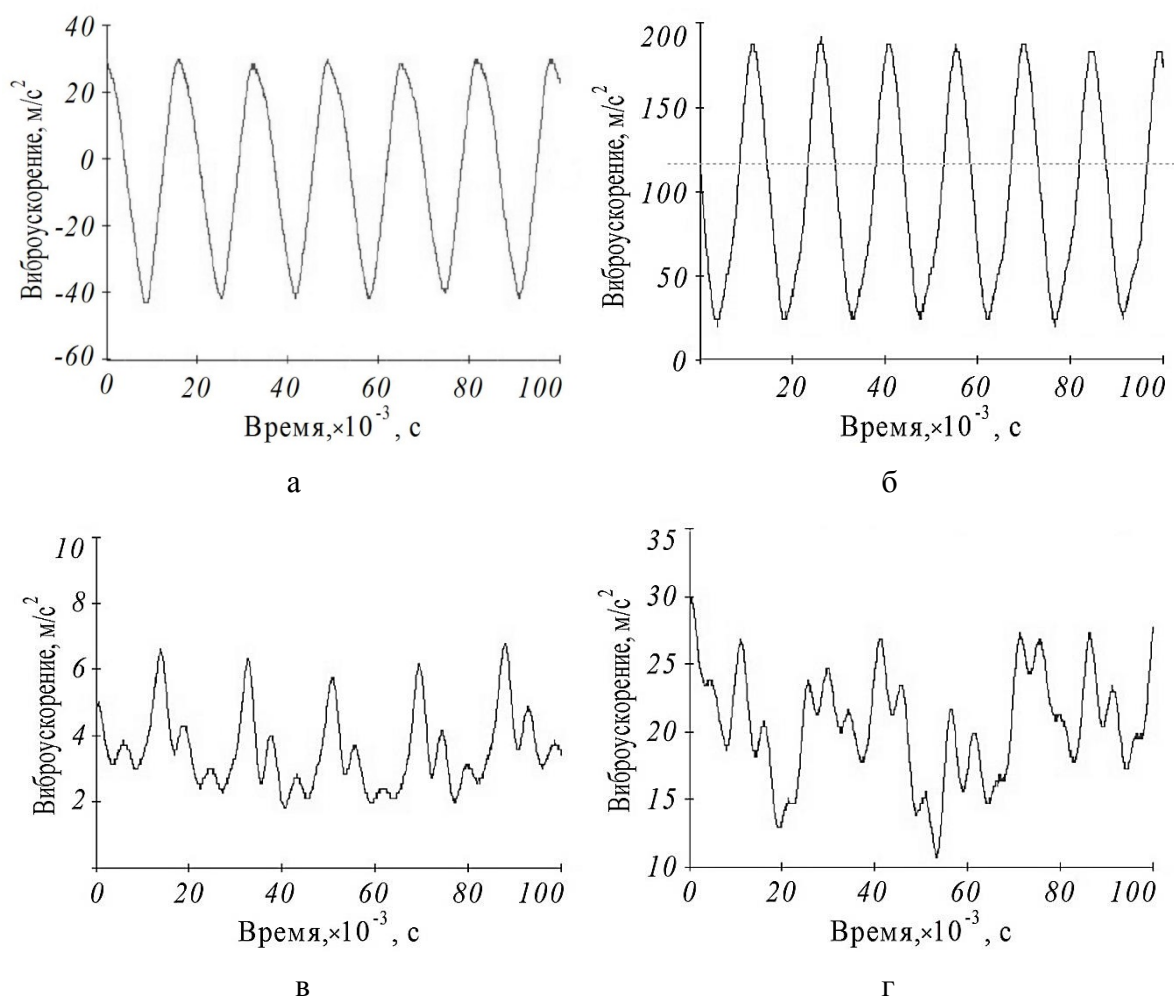


Рисунок 3 Значения виброускорений, возбуждаемых пневмовибратором в месте контакта с нижней торцевой поверхностью стакана-коллектора (а и б), и измеренные на верхней торцевой поверхности ковшового стакана (в и г) при двух интенсивностях колебательного процесса

Выводы и направление дальнейших исследований. Полученная информация будет необходима при расчёте и конструировании ковшового затвора, снабжённого системой вибрационного воздействия на его керамическую часть с целью устранения затягивания разливочного канала из-за отложений неметаллических включений на поверхности, контактирующей с потоком жидкой стали. В частности, данные о

степени поглощения упругой волны при её прохождении вдоль сталевыпускного канала, сформированного огнеупорными элементами затвора, позволят обосновать требуемую интенсивность вибрационного воздействия на них и необходимое число пневматических вибраторов для её обеспечения. Предложенное техническое решение по совершенствованию затвора может составить предмет изобретения.

Библиографический список

1. Аксельрод, Л. М. Предотвращение процесса затягивания канала сталеразливочного узла промежуточного ковша МНЛЗ [Текст] / Л. М. Аксельрод, А. А. Вяткин, Н. А. Вяткина и др. // Новые огнеупоры. — 2007. — № 2. — С. 9–14.

2. Shusen, L. Inclusions and nozzle clogging during steel continuous casting process [Text] / L. Shusen, J. Wei, Z. Lifeng etc // The Iron and Steel Technology Conference and Exposition (AISTech 2008). — Pittsburgh : Warrendale, 2008. — P. 1247–1261.
3. Аксельрод, Л. М. Разработка технологии изготовления огнеупорного материала, замедляющего процесс затягивания [Текст] / Л. М. Аксельрод, Г. Г. Мельникова, Г. О. Бодина // Огнеупоры и техническая керамика. — 2001. — № 2. — С. 22–25.
4. Кононов, В. А. Разработка шибберных систем для разлива мелких слитков и фасонного литья [Текст] / В. А. Кононов, В. П. Василенко, А. А. Алпатов // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 18–24.
5. Кононов, В. А. Эффективность внедрения шибберной разливки в литейном производстве [Текст] / В. П. Василенко, С. И. Герцык и др. // Литейщик России. — 2010. — № 11. — С. 23–26.
6. Жилин, Д. И. Повышение эффективности шибберного затвора с дополнительным подогревом разливочного канала [Текст] / Д. И. Жилин // Заготовительные производства в машиностроении. — 2015. — № 11. — С. 3–6.
7. Еронько, С. П. Модельные исследования процесса зарастания канала ковшового затвора [Текст] / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачёв, Е. А. Пономарёва // Инновационные перспективы Донбасса : сборник трудов 4-й международной научно-практической конференции в 6-ти томах. Т.3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — Донецк : ДонНТУ, 2018. — С. 11–15.
8. Еронько, С. П. Модельные исследования влияния вибрационного воздействия на процесс зарастания канала ковшового затвора [Текст] / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачёв, Е. А. Пономарёва // Чёрная металлургия : бюллетень научно-технической и экономической информации. — 2018. — № 11. — С. 51–58.
9. Еронько, С. П. Модельные исследования параметров работы вибрационных устройств для систем ковшовых затворов. [Текст] / С. П. Еронько, Е. В. Ошовская, М. Ю. Ткачёв, Е. А. Пономарёва // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск, 2018. — № 11 (54). — С. 119–128.
10. Ошовская, Е. В. Оценка коэффициента затухания параметров вибрационного сигнала [Текст] / Е. В. Ошовская, В. А. Сидоров, Д. В. Щедринский // Научно-технический прогресс в чёрной металлургии : материалы III международной научной конференции. — Череповец, 2017. — С. 190–196.

© Еронько С. П.© Ткачёв М. Ю.© Понамарёва Е. А.© Сидоров В. А.© Ошовская Е. В.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ОПМ ДонНТУ Ченцовым Н. А.,
д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламов А. Ю.**

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

д.т.н. Еронько С. П., к.т.н. Ткачов М. Ю. (ДонНТУ, м. Донецк, ДНР), Понамарёва О. О. (ТОВ «Горлівський енергомеханічний завод», м. Горлівка, ДНР), д.т.н. Сидоров В. А., к.т.н. Ошовська О. В. (ДонНТУ, м. Донецк, ДНР)

ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПОГЛИНАННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ ВОГНЕТРИВАМИ КОВШОВОГО ЗАТВОРУ В ПРОЦЕСІ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ

Наведено результати експериментальних досліджень процесу поглинання пружних хвиль, що порушені пневматичним вібратором направленої дії, які поширюються у вогнетривких елементах шибберного затвору розливного ковша уздовж його сталевипускного каналу. Отримана інформація послужить базою при розрахунку та конструюванні системи, що забезпечує знижен-

ня інтенсивності відкладення нашарувань на поверхнях керамічних виробів, які контактують з потоком стікаючої з ковша сталі.

Ключові слова: розливний ківш, шибєрний затвор, зтягування сталевипускного каналу, вібраційна дія, поглинання пружної хвилі.

Doctor of Technical Sciences Eron'ko S. P., PhD in Engineering Tkachov M. Yu. (DonNTU, Donetsk, DPR), Ponamaryova E. A. (OOO "Gorlovsky Power-Mechanical Plant" (Limited Liability Company), Gorlovka, DPR), Doctor of Technical Sciences Sidorov V. A., PhD in Engineering Oshovskaya E. V. (DonNTU, Donetsk, DPR)

ASSESSMENTS FOR THE INTENSITY OF ABSORPTION OF ELASTIC WAVES BY LADLE SLIDE REFRACTORIES DURING VIBRATION IMPACT

There have been given the findings of investigation of the attenuation coefficient of a signal passing through the fire-resistant elements of the ladle slide of elastic waves generated by a pneumatic vibrator in order to prevent the process of clogging of steel outlet channel. There has been determined the influence of the following factors on this process: dimensions, elastic properties and interface surfaces of refractories, intensity of vibration impact, sealing paste.

Key words: ladle, slide gate systems, clogging of steel channel, vibration impact, absorption of the elastic wave.

УДК 621.91(076)

д.т.н. Шаповалов В. И.**(г. Луганск, ЛНР),****к.т.н. Чекалов А. Н.,****Лавренчук К. П.,****Стародубов С. Ю.****(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, tmsi-1967@yandex.ru)**

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ С РК-ПРОФИЛЕМ В ЦИКЛЕ РАБОТЫ ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ АВТОМАТОВ

Рассмотрена возможность выполнения обработки РК-профильных поверхностей в автоматическом цикле работы токарно-револьверного автомата. Предложена кинематическая схема дополнительного устройства к токарно-револьверному автомату для обработки РК-профильных поверхностей методом точения безвершинным резцом. Дана оценка эффективности применения дополнительного устройства.

Ключевые слова: обработка РК-профиля, токарно-револьверный автомат, дополнительное устройство, кинематическая схема, безвершинный резец.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Одним из наиболее распространённых видов соединения деталей машин является резьбовое соединение. Оно реализуется крепёжными болтами, винтами, шпильками и т. д. Применяемые крепёжные резьбы обладают свойством самоторможения, но воздействие вибраций и других случайных факторов, сопровождающих процесс эксплуатации машин и механизмов, требует специального законтривания резьбовых соединений. Для обеспечения стабильности затяжки резьбы применяют соединения с большим упругим удлинением или вводят в конструкцию специальные упругие элементы и т. д.

Во многих отраслях промышленности всё более широкое распространение получают РК-профильные резьбовые самоконтрящиеся соединения [1]. Их использование обеспечивает повышенную точность центрирования, прочность и надёжность при воздействии вибраций. В связи с этим задача разработки способов эффективного изготовления крепёжных деталей, имеющих резьбу в форме равноосного контура (РК), является актуальной.

Постановка задачи. Машиностроительные предприятия бывшего СССР располагают значительным парком металлообрабатывающих станков как с ручным управлением, так и с жёсткой автоматизацией, в частности, токарно-револьверных автоматов (ТРА). В настоящее время вследствие расширения номенклатуры изготавливаемых изделий оборудование с жёсткой автоматизацией, как правило, мало загружено. В то же время на ТРА возможно изготовление многих видов точных крепёжных резьбовых самоконтрящихся и самотормозящихся винтов с РК-профилем. Совмещение при обработке на ТРА переходов точения, получения РК-профильной поверхности и нарезания резьбы позволит повысить производительность и снизить себестоимость механической обработки за счёт уменьшения вспомогательного времени, сократить потребность предприятия в специальном оборудовании для обработки РК-профиля и высококвалифицированных рабочих кадрах, обеспечить точность изделия благодаря точению РК-профиля и нарезанию резьбы с одной установки.

В связи с этим **целью** настоящей работы явилась разработка дополнительного уст-

ройства к ТРА, обеспечивающего возможность обработки РК-профильных поверхностей в общем цикле работы станка.

Объект исследования — устройство для обработки РК-профильной поверхности в общем цикле работы ТРА.

Предмет исследования — закономерности движений исполнительных органов ТРА при обработке РК-профильной поверхности в общем цикле работы ТРА.

Задачи исследования:

– выбрать наиболее оптимальный для реализации на ТРА метод обработки РК-профильных поверхностей;

– разработать принцип действия и кинематическую схему устройства для обеспечения реализации выбранного метода в цикле работы ТРА;

– оценить эффективность предложенного дополнительного устройства для обработки РК-профильных поверхностей в цикле работы ТРА.

Методика исследования. Исследование возможности обработки РК-профильных поверхностей в общем цикле работы ТРА проводилось на базовой модели автомата токарно-револьверного одношпиндельного пруткового 1В116 производства Мелитопольского станкостроительного завода им. 23 Октября (1990 года выпуска). Технические характеристики ТРА модели 1В116 [2], участвующие в решении поставленных задач:

– диапазон регулирования привода главного движения: $63 \dots 6300 \text{ мин}^{-1}$;

– пределы времени одного оборота рас-
пределительных валов: $4,5 \dots 570 \text{ с.}$;

– пределы диаметров нарезаемых резьб (плашкой по стали): М5...М14.

Изложение материала и его результаты. Как показано в [3], при обработке РК-профиля наиболее простая конструкция дополнительного устройства получается в случае применения однокоординатного перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Для реализации этого метода необходимо, чтобы режущий инструмент обеспечивал получение линии, касательной к обрабатываемому профилю. При обработке на ТРА это можно обеспечить фрезерованием торцом или боковой поверхностью фрезы либо точением безвершинным резцом.

Предварительный анализ затрат времени на обработку РК-профильных поверхностей различными способами фрезерования показал, что даже в случае применения твёрдосплавных концевых фрез невозможно использовать главный привод самого станка без расширения его диапазона регулирования в сторону уменьшения частот вращения шпинделя, а также включить обработку РК-профиля в цикл работы ТРА из-за большой длительности обработки профиля.

Перспективным способом чистовой механической обработки валов, в том числе и с РК-профильными поверхностями, является косоугольное точение прямолинейным безвершинным резцом. Схема данного процесса приведена на рисунке 1.

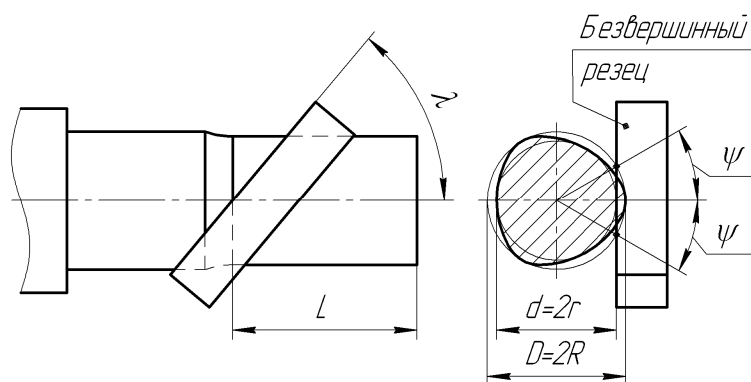


Рисунок 1 Схема косоугольного резания безвершинным резцом

При обработке на ТРА необходимо учитывать особенности косоугольного резания и определить допустимые условия, обеспечивающие обработку [4, 5].

Глубина резания при косоугольном точении непостоянна и изменяется по длине режущей кромки. Максимальное значение глубины резания определяется по формуле

$$t_{\max} = R \cdot (1 - \cos \psi_{\max}), \quad (1)$$

где R — наибольший радиус обрабатываемой поверхности, мм; ψ_{\max} — статический угол наклона основной плоскости в точке касания.

Из выражения (1) следует, что при известных значениях наибольшего радиуса обрабатываемой заготовки и максимальной глубины резания статический угол наклона основной плоскости в точке касания может быть определён по формуле

$$\psi_{\max} = \arccos\left(\frac{R - t_{\max}}{R}\right). \quad (2)$$

Наибольшая длина касательной при глубине резания, равной двум эксцентриситетам:

$$H = 4 \cdot \sqrt{e \cdot (R - e)}, \quad (3)$$

где e — эксцентриситет, мм.

Величина эксцентриситета определяется из зависимости

$$e = \frac{R}{16}. \quad (4)$$

Наибольшая длина режущей кромки:

$$B = \frac{\sqrt{R^2 - r^2}}{\sin \lambda}, \quad (5)$$

где r — наименьший радиус обрабатываемой поверхности, мм; λ — угол наклона режущего лезвия.

Основное время обработки определяется по известной формуле:

$$T_o = \frac{L + y}{S_o \cdot n} \cdot i, \quad (6)$$

где L — длина участка РК-профиля, мм; y — величина врезания и перебега, мм; S_o — осевая подача, мм/об; n — частота вращения шпинделя с заготовкой, мин^{-1} ; i — число проходов.

Расчёт параметров процесса косоугольного точения безвершинным резцом выполнен для случая обработки РК-профильной поверхности длиной $L = 30$ мм под резцу М14, нарезаемую плашкой на заготовке из конструкционной стали. Получены следующие значения параметров:

– наибольший радиус обрабатываемой поверхности: $R = 7$ мм;

– эксцентриситет: $e = 0,44$ мм;

– наименьший радиус обрабатываемой поверхности: $r = 6,12$ мм;

– максимальная глубина резания:

$t_{\max} = 0,88$ мм;

– статический угол наклона основной плоскости в точке касания: $\psi_{\max} = 29^\circ$;

– наибольшая длина касательной при глубине резания, равной двум эксцентриситетам: $H = 6,796$ мм;

– наибольшая длина режущей кромки (при $\lambda = 45^\circ$): $B = 4,81$ мм.

При однопроходной обработке рассматриваемого участка РК-профиля с подачей $S_o = 0,1$ мм/об и частотой вращения шпинделя $n = 630 \text{ мин}^{-1}$ (скорость резания $V = 27,7$ м/мин) основное технологическое время составит $T_o = 0,52$ мин или 31,4 с. (величина врезания и перебега $y = 3$ мм). Таким образом, основное время, затрачиваемое на обработку РК-профильного участка вала методом косоугольного резания, позволяет встроить данную операцию в цикл работы ТРА.

На рисунке 2 показан вариант кинематической схемы дополнительного устройства к станку 1В116, предназначенного для косоугольного точения безвершинным резцом наружных поверхностей с РК-профилем.

Устройство позволяет согласовать вращение шпинделя изделия и возвратно-поступательное движение инструмента — безвершинного тангенциального резца.

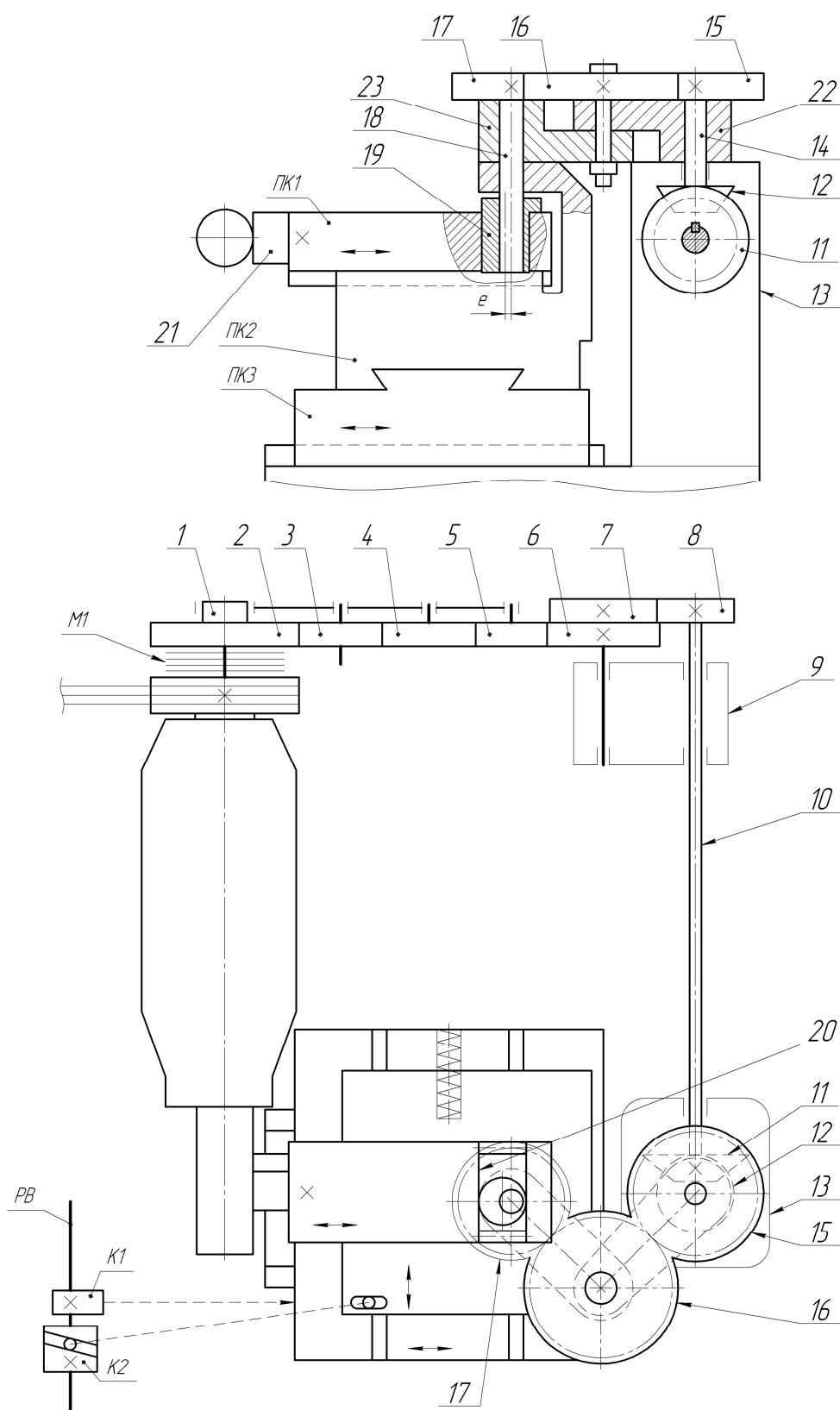


Рисунок 2 Кинематическая схема дополнительного устройства к ТРА для обработки наружных РК-профильных поверхностей методом косоугольного точения безвершинным резцом

При включении муфты М1 движение от установленной на конце шпинделя 1 шестерни 2 через зубчатые колёса 2–3–4–5 передаётся на расположенное в корпусе редуктора 9 зубчатое колесо 6. Колесо 6 через сменные колёса 7 и 8, вал 10, коническую пару 11–12, расположенную в стойке 13, вращает вертикальный вал 14 и закреплённое на нём цилиндрическое зубчатое колесо 15.

Далее движение передаётся через механизм пантиграфного типа, состоящий из двух поворотных кронштейнов 22, 23 и цилиндрического зубчатого колеса 16, закреплённого на оси, расположенной в отверстиях кронштейнов 22 и 23. Колесо 16 зацепляется с колёсами 15 и 17. Колесо 17 и кулачок 19 закреплены на оси 18, которая, в свою очередь, установлена в кронштейне промежуточной каретки ПК2. Промежуточная каретка ПК2 установлена на продольных направляющих нижней поперечной каретки ПК3. В свою очередь, по направляющим промежуточной каретки ПК2 перпендикулярно оси обрабатываемой заготовки движется верхняя инструментальная каретка ПК1, несущая безвершинный резец 21.

При вращении кулачка 19 кулисный механизм 20 сообщает каретке ПК1 возвратно-поступательное движение с числом двойных ходов, превышающим число оборотов шпинделя в N раз, где N — число граней участка вала с равноосным контуром.

Для обеспечения возможности перемещения резца 21 одновременно по двум координатам использован механизм пантиграфного типа, в котором ось промежуточного зубчатого колеса 16 установлена в отверстиях двух плит, имеющих возможность поворота соответственно вокруг осей зубчатых колёс 15 и 17. Исходное положение осей колёс 15, 16 и 17 выбирается из условия свободного поворота кронштейнов 22 и 23. Настройка эксцентриситета кулачкового привода обеспечивает требуемую величину эксцентриситета РК-профиля.

В исходном положении инструмент находится на наибольшем необходимом удалении от заготовки.

Управление циклом движений инструмента осуществляется при помощи кулачков К1 и К2. При вращении распределительного вала (РВ) кулачок К1 смещает каретку ПК3 в поперечном направлении и осуществляет подвод инструмента в начальную точку. После этого цилиндрический кулачок К2 обеспечивает подвод и рабочую подачу инструмента вдоль оси детали до конечной точки. Затем кулачок К1 и пружина отводят каретку ПК3 на меньшее расстояние от обрабатываемой поверхности, а кулачок К2 на ускоренном ходу возвращает каретки ПК2 и ПК1 с инструментом в начальную точку. После этого при однократном вращении пружина в соответствии с формой поверхности холостого хода кулачка К1 обеспечивает ускоренный возврат каретки ПК3 в исходную точку.

При необходимости устройство может быть использовано для многопроходной обработки. Для этого профиль рабочей поверхности кулачка К2 выполняется такой формы, чтобы после первого прохода и возврата в начальную точку кулачок К1 обеспечивал врезание инструмента на глубину второго прохода, кулачок К2 — подачу вдоль оси до конечной точки, а затем — отвод резца в начальную точку. При необходимости следующих проходов цикл повторяется. Если обработка закончена, кулачок К1 и пружина возврата обеспечивают перемещение всех кареток в исходное положение. Муфта М1 отключает связь колеса 2 со шпинделем и станок продолжает выполнение других переходов, предусмотренных наладкой.

Для изготовления самоконтражающихся винтов после обработки РК-профильной поверхности на ней нарезают резьбу плашкой, установленной в державке револьверной головки.

С учётом относительно небольшой величины эксцентриситета и малой массы каретки К1 число поперечных ходов резца может быть значительным. Ограничением является жёсткость и виброустойчивость станка. Для повышения жёсткости технологической системы одно из гнезд револь-

верной головки может быть использовано для установки поддерживающего центра.

Устанавливается приспособление на площадку, предусмотренную для привода дополнительных устоев ТРА, а устройство для получения РК-профиля располагается на заднем суппорте.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработанное дополнительное устройство для ТРА позволяет встраивать операцию обработки РК-профильных поверхностей в непрерывный цикл работы станка, обеспечивает требуемую согласованную последовательность и величину перемещений режущего инструмента — безвершинного тангенциального резца.

Предложенный механизм имеет следующие преимущества:

1. Обеспечивает обработку РК-профилей в общем цикле ТРА.

2. Не требует отдельного электродвигателя, т. к. работает от привода станка.

3. Передача возвратно-поступательного движения от входного вала 10 через пан-

тографное устройство и кулисный механизм непосредственно на верхнюю инструментальную каретку ПК1, минуя промежуточные каретки ПК2 и ПК3, способствует уменьшению числа промежуточных сопряжений и, как следствие, повышению жёсткости технологической системы, что, в свою очередь, позволяет повысить производительность обработки.

4. Применение пантографного механизма позволяет обеспечить более высокую точность и жёсткость за счёт замены поступательно движущихся элементов на поворотные.

5. Возможность попеременного или одновременного движения кареток ПК2 и ПК3 при любом соотношении их скоростей и длин ходов в пределах, допускаемых размерами конструкции, позволяет получить любую требуемую траекторию движения инструмента за счёт соответствующего профилирования кулачков.

Библиографический список

1. Тимченко, А. И. Самоконтрящиеся резьбовые соединения с РК-профилем и технология их изготовления [Текст] / А. И. Тимченко // Вестник машиностроения. — 1990. — № 2 — С. 51–53.
2. 1В116П.0.00.000РЭ Автоматы токарно-револьверные одношпиндельные прутковые моделей 1В116П, 1В116 : руководство по эксплуатации [Текст] / Мелитопольский станкостроительный завод имени 23 октября. — Запорожье : Облполиграфиздат, 1988. — 105 с.
3. А. с. 655117 СССР, МПК³ В 23 В 1/00. Способ обработки валов / А. И. Тимченко, А. А. Панов, Л. Л. Тимченко ; заявители Коммунарский горно-металлургический институт, Московский станкоинструментальный институт. — № 2368026/25-08 ; заявл. 03.06.76 ; опубл. 23.06.81, Бюл. № 23. — 2 с. : ил.
4. Петрушин, С. И. Анализ геометрии косоугольного обтачивания безвершинными резцами [Текст] / С. И. Петрушин, А. В. Филиппов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). — 2013. — № 2 (59). — С. 8–13.
5. Филиппов, А. В. К расчёту «допустимой» геометрии при безвершинном косоугольном точении / А. В. Филиппов // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 5. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10066> (03.11.19).

© Шаповалов В. И.

© Чекалов А. Н.

© Лавренчук К. П.

© Стародубов С. Ю.

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

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

д.т.н. Шаповалов В. І. (м. Луганськ, ЛНР), к.т.н. Чекалов О. М., Лавренчук К. П.,
Стародубов С. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, tmsi-1967@yandex.ru)

ДОДАТКОВИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ З РК-ПРОФІЛЕМ У ЦИКЛІ РОБОТИ ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНИХ АВТОМАТІВ

Розглянуто можливість виконання обробки РК-профільних поверхонь в автоматичному циклі роботи токарно-револьверного автомата. Запропоновано кінематичну схему додаткового пристрою до токарно-револьверного автомата для обробки РК-профільних поверхонь методом точіння безвершинним різцем. Дано оцінку ефективності застосування додаткового пристрою.

Ключові слова: обробка РК-профілю, токарно-револьверний автомат, додатковий пристрій, кінематична схема, безвершинний різець.

Doctor of Technical Sciences Shapovalov V. I. (Lugansk, LPR), PhD in Engineering Chekalov A. N.,
Lavrenchuk K. P., Starodubov S. Yu. (DonSTU, Alchevsk, LPR, tmsi-1967@yandex.ru)

ADD-ON DEVICE FOR SURFACE TREATMENT WITH EC-PROFILE IN THE CYCLE OF AUTOMATIC TURRET LATHES

The possibility of processing of EC-profile surfaces in automatic cycle of the automatic turret lathe is considered. The kinematic scheme of the add-on device to the automatic turret lathe for processing of EC-profile surfaces by turning with a peakless cutter is offered. The assessment of the efficiency of using the add-on device is given.

Key words: processing of EC-profile, automatic turret lathe, add-on device, kinematic scheme, peakless cutter.

УДК 626.16.06

к.т.н. Чебан В. Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
д.т.н. Зубков В. Е.,
д.т.н. Шаповалов В. И.
(г. Луганск, ЛНР)

МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ С КЛИНООБРАЗНЫМИ НАПОРНЫМИ КАНАЛАМИ

Проанализирована работа плоскоканальных мембранных аппаратов. Выявлены их основные достоинства и недостатки. Предложена принципиально новая конструкция мембранного аппарата с клинообразными напорными каналами. Обеспечение постоянной скорости течения очищаемой жидкости позволяет существенно повысить эффективность работы данного аппарата.

Ключевые слова: мембранный аппарат, напорный канал, фильтрат, концентрат, мембрана.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Использование части потока очищаемой жидкости для непрерывной регенерации фильтрующей поверхности широко известно в практике очистки жидкостей от механических загрязнений. Обычно данный способ называют тангенциальной очисткой. Реализуется он широко в гидродинамических очистителях, но ещё шире — в мембранных аппаратах [1]. Значительное многообразие форм напорных каналов в гидродинамических очистителях свидетельствует о поиске путей повышения эффективности гидродинамической очистки и расширения возможностей её реализации. При этом в мембранных аппаратах число использованных форм напорных каналов ограничено пока единицами.

Общеизвестно, что наивысшая эффективность очистки жидкости от твёрдых загрязнений или, как говорят специалисты по мембранам, разделения её на фильтрат и концентрат может быть достигнута в напорном канале, обеспечивающем равномерный поток жидкости от входа в него к его выходу по всей ширине канала. И это вполне возможно, если в таком напорном канале в том же направлении ширина проницаемой поверхности имеет постоянное значение, а высота его, т. е. расстояние между образующими напорный канал по-

верхностями, линейно изменяется. Эффективность конкретного случая разделения жидкости заключается в том, что в таком канале сопротивление движению жидкости и потери её энергии минимальны, застойные зоны в нём отсутствуют, а разделение жидкости происходит равномерно по всей площади проницаемой поверхности. Причём в напорных каналах мембранных аппаратов в этом случае концентрационная поляризация наступает значительно позже или вообще не наступает. Вполне очевидно, что для достижения упоминаемой равномерности потока жидкости по всей ширине напорного канала нужно обеспечить как её равномерную подачу на всю ширину его входа, так и равномерный отвод сливаемой её части в виде концентрата также по всей ширине его выхода.

Исследования показали, что теоретически на данный момент существуют три идеальных напорных канала с соответствующими им условиями подачи жидкости и отвода концентрата. Первый из них образован двумя цилиндрическими поверхностями, одна из которых выполнена в виде непроницаемого кругового цилиндра, и назван он серпообразным [2]. Вторым выполнен двумя плоскими поверхностями в виде одностороннего клина, в котором непроницаемая поверхность расположена под острым углом к проницаемой поверхности, и

назван он клинообразным [3]. Третий представляет собой последовательное сочетание клинообразного и серпообразного напорных каналов [4]. В гидродинамических фильтрах все они конструктивно и практически реализуемы, а в мембранных аппаратах применим только один из них — клинообразный напорный канал. Связано это с тем, что эффективность мембранного разделения в значительной степени зависит от выхода напорного канала, и она повышается с уменьшением его высоты, которая, в свою очередь, зависит от качества подготовки разделяемой жидкости по гранулометрическому составу и технических возможностей исполнения.

Авторы работы [3], используя самый простой в изготовлении идеальный напорный канал в виде одностороннего клина, не обеспечили конструктивно упоминаемых выше условий подачи жидкости на вход напорного канала и отвода концентрата из него через выход, что привело к срыву равномерности потока жидкости в канале и снижению эффективности разделения. Подача разделяемой жидкости на вход напорного канала осуществляется через множество вертикальных подводящих жидкость отверстий, расположенных перед ним в ряд на расстоянии друг от друга, а отвод из него концентрата — через расположенные в ряд после выхода канала вертикальные отводящие отверстия. Такой подвод и отвод жидкости не могут обеспечить формирование потока разделяемой жидкости с одинаковой скоростью как вдоль, так и по всей ширине проницаемой поверхности. Причём потоки разделяемой жидкости в каждой паре соседних напорных каналов имеют противоположное направление и вынужденно конструктивно смещены в противоположные стороны от продольной оси пакета каналов, что обусловлено Z-образной формой образующих их опорных плит и необходимостью обеспечить все напорные каналы упоминаемыми отверстиями. Напорные каналы с такими потоками характеризуются наличием застойных зон как цен-

тров концентрационной поляризации и неравномерностью разделения жидкости по всей поверхности мембран. В связи с этим страдает эффективность их использования, увеличивается потребность в их обслуживании, появляется необходимость замены мембран. Обращает на себя внимание и тот факт, что отводу фильтрата из дренажного канала вообще не уделено должного внимания, хотя он также играет важную роль в поведении жидкости при её движении в напорном канале вдоль перфорированной поверхности и образовании на ней застойных зон. Об этом свидетельствует предусмотренный отвод фильтрата из каждого напорного канала через одно отверстие, причём расположенное на длинной, т. е. боковой, стороне мембранного элемента.

Дальнейший анализ исследуемого аппарата показал, что одной из причин появления подводящих, отводящих и сливных отверстий является отказ авторов от цельного корпуса и заимствование ими пакетированного, составленного из значительного количества опорных рамок с прокладками между ними, широко используемого в плоскокамерных мембранных аппаратах. С точки зрения современности выбор такой схемы аппарата в годы его разработки авторами был обоснован острой необходимостью замены плоских мембран, имеющих в то время худшие технологические и прочностные характеристики, чем нынешние. Это подтверждается дальнейшим отказом некоторых фирм от пакетированного корпуса и переводом конструкции аппарата на цельный цилиндрический корпус [5, 6]. К сожалению, в нём собственно напорные каналы не имеют признаков идеального напорного канала для разделения жидкости, так как по длине они постоянной высоты, но обращает на себя особое внимание тот факт, что условия подачи разделяемой жидкости и отвода концентрата соответствуют идеальному напорному каналу. Причём, как в клинообразном [3], так и в плоскокамерном [5] напорных каналах жидкость движется вдоль длинной стороны по-

верхности плоских мембран, в то время как в рулонном [6] — вдоль короткой. Поэтому в последнем случае вполне очевидно, что при одинаковой высоте выходов этих напорных каналов и скорости отвода концентрата через них в рулонном напорном канале требуется увеличение объёма слива концентрата во столько раз, во сколько длинная сторона мембраны больше короткой. Для условий же, когда ширина мембраны равна 0,9 м, а длина — более 3 м [6], такое увеличение составляет более чем в три раза и явно не в пользу широко используемого рулонного модуля. Если учесть сказанное, то использование рулонного модуля может быть рациональным только в мембранных аппаратах низкой производительности.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка принципиально новой конструкции мембранного аппарата с постоянной скоростью течения очищаемой жидкости.

Изложение материала и его результаты. Общеизвестно, что в последние годы качественные характеристики плоских мембран резко возросли, уделено достаточное внимание предварительной подготовке жидкости к разделению в каждом конкретном случае и разработано множество эффективных способов регенерации мембранных элементов и почти полного их восстановления без разборки корпусов. Это, в свою очередь, является гарантией того, что именно при рациональном ведении процесса разделения жидкости, которое возможно только в мембранном аппарате с идеальными напорными каналами и соответствующими им условиями подачи разделяемой жидкости, отвода концентрата и фильтрата, замена мембран окончательно перестаёт быть определяющей в надёжной и непрерывной работе мембранных аппаратов. Поэтому необходимость в пакетированных корпусах отпадёт.

В рассматриваемом случае при наличии в исследуемом аппарате [3] напорного канала в виде одностороннего клина для достижения наивысшей эффективности

его работы достаточно конструктивно обеспечить рациональные условия подачи разделяемой жидкости и отвода концентрата в напорном канале, а также отвода фильтрата из дренажного канала. В результате проведённых исследований стало очевидным, что это возможно в мембранном аппарате, один из вариантов которого представлен на рисунке 1.

Мембранный аппарат содержит вертикальный корпус 1 с горизонтальными перегородками 2 и 3, между которыми зажат пакет 4. Пакет сложен из последовательно расположенных в ряд дренажных 5, промежуточных 6 элементов и расположенных между ними прямоугольных плоских мембран 7, торцевые концы которых заведены в полости прямоугольных рамок 8 и 9, присоединённых к противоположным торцам стяжных плит 10 и 11 с возможностью стягивания составляющих ряд элементов в пакет 4. При этом концы дренажных элементов 5, если они выполнены в виде сетки или проницаемого иного материала, загерметизированы до толщины материала или заменены непроницаемыми полосами той же толщины, к которым приклеены только поверхности торцевых концов мембран 7, поверхности боковых торцов которых приклеены только к боковым концам промежуточных элементов 6, выполненных каждый в виде пластины, толщина которой на ширине контакта её с жидкостью меньше её общей толщины, то есть в месте склеивания её с мембраной 7, и клинообразна по длине с вершиной клина на входе в напорный канал. Благодаря этому образованы два соседних напорных канала 12 с одинаковым направлением потоков жидкости в них, расположенных между двумя дренажными каналами 13, в первом из которых вход для жидкости и выход для концентрата выполнены на всю ширину B напорного канала, а вторые выполнены каждый с двумя боковыми выходами для фильтрата на всю длину L дренажного канала. Клинообразная форма менее тонкой части промежуточного элемента 6 обеспечивает линейное

изменение высоты напорного канала 12 по всей его длине и ширине, как и в исследуемом аппарате. Горизонтальные перегородки 2 и 3 разделяют корпус 1 на три части. Первая из них расположена перед пакетом 4, то есть перед входами в напорные каналы 12, и играет роль подводящего коллектора 14 жидкости. Вторая из них распо-

ложена после пакета 4, то есть после выходов из напорных каналов 12, и играет роль сливного коллектора 15 концентрата, а третья часть — вокруг пакета 4 и играет роль отводящего коллектора 16 фильтрата, при этом каналы 12 и 13 непосредственно соединены с полостями соответствующих им коллекторов.

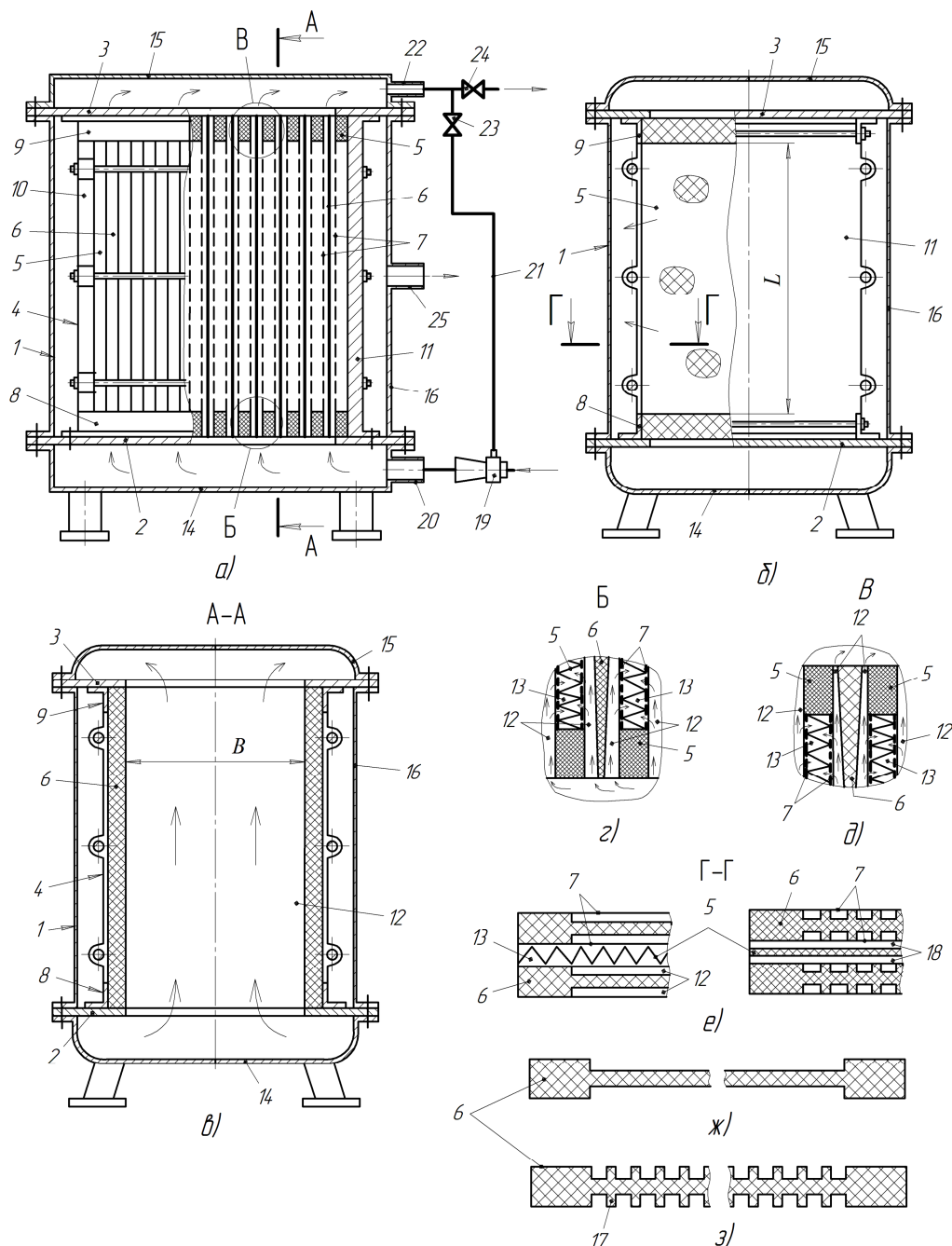


Рисунок 1 Мембранный аппарат с клинообразными напорными каналами

Выполнение напорных каналов 12 без подкладок (рис. 1, з) ухудшает или делает невозможной обратную промывку мембран фильтратом, поэтому промежуточные элементы 6 могут быть выполнены с продольными рёбрами 17 (рис. 1, з). С целью же расширения возможности изготовления дренажных каналов 13 дренажные элементы 5 могут быть выполнены в виде пластин с канавками 18 на длине канала 13, расположенными накрест рёбрам 17 промежуточных элементов 5 (рис. 1, е).

Известно, что высота известных напорных каналов в мембранных аппаратах лежит в пределах 0,5÷5 мм, причём чем меньше высота напорного канала, тем выше показатели аппарата, но тем хуже условия исполнения таких каналов. Следовательно, для облегчения изготовления возможной высоты канала нужно увеличение сливаемой части концентрата без снижения производительности аппарата по фильтрату. С этой целью мембранный аппарат оборудуют дополнительным циркуляционным насосом или, по возможности, эжектором 19, установленным перед патрубком 20 подводящего коллектора 14 жидкости, камера пониженного давления которого с помощью циркуляционного трубопровода 21 сообщена с полостью патрубка 22 сливного коллектора 15 концентрата.

Мембранный аппарат работает следующим образом.

Жидкость, подлежащую разделению на фильтрат и концентрат, непрерывным потоком и под давлением подают в эжектор 19, откуда она через патрубок 20 сначала поступает в подводящий коллектор 14, а затем непосредственно и одновременно во все напорные каналы 12. Здесь она движется вдоль плоских мембран 7, причём с постоянной скоростью по всей их ширине, и разделяется на фильтрат и концентрат. Первый из них проникает через мембраны и сначала поступает в дренажные каналы 13, затем из них выходит непосредственно в отводящий коллектор 16 и оставляет аппарат через патру-

бок 25. Второй же продолжает движение вдоль напорного канала 12 и через его выход сначала попадает непосредственно в сливной коллектор 15, а затем покидает корпус 1 через сливной патрубок 22, откуда посредством дросселей 23 и 24 часть его сливается из аппарата, а часть поступает в циркуляционный трубопровод 21. Далее под действием разряжения, создаваемого в камере пониженного давления работающего эжектора 19, концентрат из циркуляционного трубопровода 21 поступает в эжектор 19, а затем в смеси с основной разделяемой жидкостью движется по выше описанному пути.

Процесс разделения жидкости продолжается до заранее установленной степени засорения мембран 7, после чего аппарат без его разборки останавливают на регенерацию одним из известных способов. Если напорные каналы 12 выполнены без подкладок под мембраны 7, то желательной является их промывка в прямом направлении повышенным расходом жидкости. Более эффективным способом регенерации мембран 7 является промывка их с повышенным расходом фильтрата в обратном направлении, что возможно только при наличии в напорных каналах 12 под мембранами 7 подкладок. Не исключены и случаи комбинированных способов регенерации мембран.

Изготовление каждого из промежуточных элементов 6 из прямоугольной пластины, контактирующая в напорном канале 12 с жидкостью часть которой имеет меньшую толщину, чем общая, и выполнена в виде клина с вершиной на входе и основанием на выходе напорного канала, обеспечивает получение в одном элементе двух напорных каналов 12 с одинаковым направлением потока жидкости в них, что вместе с другими мерами упрощает решение вопроса рациональной подачи и такого же слива жидкости в виде концентрата из напорного канала. Так, расположение разделяющего жидкость пакета 4 в корпусе 1 между горизонтальными перегородками 2

и 3 максимально приближает полости всех коллекторов к соответствующим входам и выходам каналов. Это вместе с наличием рамок 8 и 9, в свою очередь, обеспечивает выполнение ширины и высоты входа и выхода напорных каналов 12 такими же, как и их ширина и высота. В результате достигается равномерность подачи жидкости по всей площади поперечного сечения напорного канала 12 и слив её части в виде концентрата из него, что является гарантией максимально возможной равномерности движения жидкости по всей длине и ширине напорного канала 12, то есть мембран 7. Это же, как известно, вместе с высокой и равномерной по ширине скоростью жидкости в канале обеспечивает наилучшие условия разделения жидкости гидродинамическим способом, который имеет при этом место. Благодаря этому застойные зоны у поверхности мембран 7 отсутствуют, концентрационная поляризация на их поверхности наступает значительно позже, чем в исследуемом аппарате, или вообще не наступает, что способствует повышению производительности предложенного аппарата.

Максимальное приближение полостей всех коллекторов к входам и выходам из напорных каналов обеспечивает их непосредственное сообщение, то есть без всякого рода отверстий, что вместе с постоянной скоростью жидкости в каналах значительно снижает потери давления жидкости и фильтрата. Расположение пакета 4 в цельном корпусе 1 обеспечивает снижение давления на внешние поверхности составляющих его элементов, что, например, позволяет резко уменьшить толщину стяжных плит 10 и 11 и меньше беспокоиться о состоянии герметизации каналов. Наличие корпуса 1 обеспечивает высокую безопасность работы аппарата без принятия дополнительных защитных мер. В случае исполнения пакета 4 квадратной формы корпус 1 целесообразней выполнять цилиндрической формы как с технической, так и эстетической точек зрения.

Оценивая клинообразный напорный канал [3], выполненный одной проницаемой и одной непроницаемой поверхностями, с плоскокамерным напорным каналом [5, 6], образованным двумя проницаемыми поверхностями, становится очевидным, что при определённых условиях производительность последнего по фильтрату выше. Или при одинаковой производительности число напорных каналов в аппарате с идеальным каналом в форме одностороннего клина должно быть больше. Поэтому, чтобы избежать этого, следует идеальный напорный канал выполнить в виде двустороннего клина, образованного двумя проницаемыми поверхностями. Оказалось, что теоретически это вполне возможно, но с практической стороны исполнение идеального напорного канала со столь малой высотой выхода возможно не в мембранных аппаратах, а в фильтрах тонкой очистки с фильтрующей поверхностью в виде сеток со значительно большим живым сечением, чем у мембран.

Кроме того, более чем полувековая практика разработки и эксплуатации множества технологических агрегатов показывает, что эффективность работы каждого из них повышается с увеличением его производительности, что вряд ли является исключением для технологии разделения жидкости на фильтрат и концентрат. Имеющее же ныне место дробление её на несколько мелких однотипных процессов может носить только частный характер, например, при низкой производительности мембранного аппарата или установки.

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведённые исследования показали, что эффективность работы мембранного аппарата зависит не только от формы напорного канала, но и от конструкции и расположения других элементов, обеспечивающих совместно оптимальные условия его работы. Это утверждение реализовано в предлагаемом в данной работе мембранном аппарате с клинообразными напорными каналами.

Библиографический список

1. Список внедрённых установок по водоподготовке и очистке воды [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://epcs.ru/works>.
2. Чебан, В. Г. Практический расчёт фильтроэлемента с грушеобразным профилем фильтрующей поверхности очистителя маловязких жидкостей [Текст] / В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2010. — Вып. 31. — С. 115–126.
3. А. с. 1017361 СССР, МПК B01D 13/00. Мембранный аппарат / В. М. Гуцалюк, Р. К. Казимиров, В. Р. Кулинченко. — Опубл. 15.05.83, Бюл. № 18.
4. Чебан, В. Г. Одноканальный гидродинамический очиститель типа «Цилиндр в цилиндре» [Текст] / В. Г. Чебан, С. С. Антоненко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. — Кременчук : КрНУ, 2012. — Вип. 3/2012 (74). — С. 98–101.
5. Плоский мембранный модуль фирмы Rochem. Фильтрующий пакет FM [Электронный ресурс]. — Режим доступа : www.rochem.ru/1_3_3.php.
6. Основы проектирования производств, использующих мембранное разделение. Основные типы мембранных модулей [Электронный ресурс] — Режим доступа : www.membrane.msk.ru/books/?id_b=98id_bp=164.

© Чебан В. Г.

© Зубков В. Е.

© Шаповалов В. И.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. АТ ЛНУ им. В. Даля Замотой Т. Н.,
д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.

Статья поступила в редакцию 01.11.19.

к.т.н. Чебан В. Г. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР), д.т.н. Зубков В. Е., д.т.н. Шаповалов В. И.
(м. Луганськ, ЛНР)

МЕМБРАННИЙ АПАРАТ З КЛИНОПОДІБНИМИ НАПІРНИМИ КАНАЛАМИ

Проаналізовано роботу плоскоканальних мембранних апаратів. Виявлено їх основні переваги та недоліки. Запропоновано принципово нову конструкцію мембранного апарата з клиноподібними напірними каналами. Забезпечення постійної швидкості течії очищуваної рідини дозволяє суттєво підвищити ефективність його роботи.

Ключові слова: мембранний апарат, напірний канал, фільтрат, концентрат, мембрана.

PhD in Engineering Cheban V. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR), Doctor of Technical Sciences

Zubkov V. E., Doctor of Technical Sciences Shapovalov V. I. (Lugansk, LPR)

MEMBRANE APPARATUS WITH WEDGE-SHAPED PRESSURE CHANNELS

The operation of flat-channel membrane apparatus is analyzed. Their main advantages and disadvantages are revealed. A fundamentally new design of the membrane apparatus with wedge-shaped pressure channels is proposed. This apparatus allows significantly improve the efficiency of its operation by providing a constant flow rate of the treated liquid.

Key words: membrane apparatus, pressure channel, filtrate, concentrate, membrane.

УДК 621.78

к.т.н. Кучма С. Н.,
Стародубов С. Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛИНВАРНЫХ СПЛАВОВ

Разработана установка для термомеханической обработки элинварных сплавов, обеспечивающая повышение эффективности её проведения за счёт совмещения в одном устройстве процессов пластической деформации (волочения) и старения под нагрузкой (динамического старения).

Ключевые слова: элинварный сплав, установка, термомеханическая обработка, динамическое старение, волочение.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Элинварные сплавы — это прецизионные безуглеродистые сплавы системы «железо-никель» с аномальным характером зависимости модуля упругости E от температуры. В эксплуатационном интервале температур (как правило $-60...+85$ °C) значения температурного коэффициента модуля упругости (ТКМУ) этих сплавов положительные или близки к нулю.

Элинварные сплавы являются основным и практически единственным конструкционным материалом для изготовления упруго-чувствительных элементов (УЧЭ) приборов и изделий радиоэлектронной промышленности, например, таких как плоские, спиральные и геликоидальные пружины, пружины часовых механизмов, ультразвуковые линии задержки, резонаторы электромеханических фильтров, барокоробки, сильфоны, звукопроводы, трубки Бурдона и т. д. Работоспособность УЧЭ обеспечивается сочетанием оптимального уровня комплекса специальных термоупругих свойств элинварных сплавов: высокой ($Q > 15000$ ед.) добротностью при близких к нулю значениях ТКМУ и температурного коэффициента частоты (ТКЧ).

Как показано в работе [1], перспективным технологическим методом формирования оптимального уровня комплекса специальных термоупругих свойств элинварных сплавов является термомеханиче-

ская обработка (ТМО), а именно — динамическое старение. Согласно [2], динамическое старение элинварных сплавов — это дополнительное старение с приложением растягивающего механического напряжения, проводимое при температуре, более низкой, чем температура их основного старения. При динамическом старении происходит дораспад твёрдого раствора с образованием полигонизированных структур, закреплённых частицами избыточных фаз, что приводит к повышению прочностных и специальных термоупругих свойств сплава.

Однако промышленное применение динамического старения элинварных сплавов требует создания специального оборудования, что обуславливает актуальность вопроса повышения технико-экономических показателей данного процесса.

Постановка задачи. Целью работы является усовершенствование технологической установки динамического старения дисперсионно-твердеющих элинварных сплавов типа 45НХВТЮ для повышения технико-экономических показателей процесса.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1) установить основные направления совершенствования установок для термомеханической обработки сталей и сплавов и выбрать наиболее перспективные из них с точки зрения технологии элинварных сплавов;

2) разработать принципиальную схему установки для термомеханической обработки дисперсионно-твердеющих элинварных сплавов типа 45НХВТЮ и определить её основные технологические параметры;

3) определить количественные значения основных технических показателей разработанной установки и оценить эффективность предложенной схемы.

Изложение материала и его результаты. Термомеханическая обработка является одним из сравнительно новых направлений обработки, соединяющей термическое и механическое воздействие на сплав. Этим объясняется то, что проблемам термомеханической обработки сталей и сплавов уделяется большое внимание. Основными направлениями исследований являются:

- изучение влияния ТМО на структуру и свойства сталей и сплавов;

- перспективы применения данного вида обработки для получения высокого уровня механических свойств металлических материалов;

- поиск и разработка новых схем ТМО.

Однако, как показывает анализ доступных авторам литературных источников, работ, посвящённых исследованиям непосредственно технологии и оборудования для проведения ТМО, относительно немного. Тем не менее, проведённый авторами анализ изобретений и полезных моделей, относящихся к оборудованию для ТМО сталей и сплавов [3], позволил выявить следующие актуальные направления их развития и совершенствования:

- разработка устройств, обеспечивающих получение объёмно-деформированного состояния материала с формированием направленного характера волокон;

- расширение методов воздействия на обрабатываемый материал, например, применение виброударной нагрузки в процессе ТМО;

- повышение качества обработки, в том числе и за счёт исключения повреждения поверхностного слоя в процессе её проведения;

- повышение производительности процесса за счёт совмещения операций формообразования и ТМО;

- расширение технологических возможностей установок для ТМО, например, за счёт обеспечения обработки изделий различного сечения.

При проектировании оборудования для ТМО элинварных сплавов также следует учитывать, что изготавливаемые из этих сплавов УЧЭ имеют относительно небольшие габариты. Одним из основных видов полуфабрикатов для изготовления УЧЭ, например резонаторов электромеханических фильтров, являются прутки малого диаметра. На рисунке 1 представлены варианты технологического процесса получения прутков $\varnothing 3,4 \pm 0,15$ мм из элинварных сплавов. Исследования проведены для сплава марки 44НХМТ [1] и вновь разработанного [4] марки 45НХВТЮ.

Исходной заготовкой в обоих случаях являлась проволока диаметром 4,5 мм, полученная по технологическому процессу, приведённому в [1]. Исходный уровень специальных термоупругих свойств проволоки составлял: $Q < 8000$ ед, $TKЧ < -15 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Проволока подвергалась холодной деформации — волочению со степенью обжатия $\varepsilon = 43 \%$ на волочильном стане барабанного типа. Для повышения пластических свойств перед волочением проволоку подогревали до температуры 250...400 °С, т. е. ниже температуры рекристаллизации исследуемых сплавов.

Затем часть полученных образцов проходила динамическое старение при температуре 500...750 °С с приложением растягивающего усилия 630...650 Н и выдержкой под напряжением в течение 25 минут.

Вышеуказанная ТМО проводилась в лабораторных условиях.

Полученные таким образом прутки разрезались на заготовки длиной $110 \pm 1,0$ мм на абразивно-отрезном станке 8В220.

Дальнейшая обработка заготовок, получаемых по базовому варианту, и заготовок из элинварного сплава 44НХМТ, получаемых

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

по предлагаемому варианту процесса обработки (рис. 1), заключалась в их старении (достаривании), которое проводилось в вакуумной печи ОКБ–704 в течение 2-х часов.

На каждой стадии технологического процесса по методикам, приведённым в [1], определялся уровень специальных термоупругих свойств образцов. Обобщённые результаты измерений приведены в таблице 1.

Полученные экспериментальные данные (табл. 1) подтверждают, что ТМО эливарных сплавов является эффективным процессом, позволяющим обеспечить требуемый уровень специальных термоупругих свойств как в структуре комбинированной деформационно-термической об-

работки (сплав 44НХМТ), так и самостоятельно (сплав 45НХВТЮ).

Однако промышленное внедрение ТМО эливарных сплавов требует разработки и усовершенствования специального оборудования.

Изучение технологического процесса получения прутков малого диаметра из эливарных сплавов (рис. 1) и вышеперечисленных актуальных направлений развития и совершенствования оборудования для ТМО позволяет сделать вывод, что наиболее перспективным путём разработки такой установки является усовершенствование существующей волочильной установки [5].

Схема предлагаемой установки для термомеханической обработки приведена на рисунке 2.

| | | Базовый вариант | Предлагаемый вариант | |
|-----------------|--------------------|---|---------------------------|----------------|
| | | | Эливар 44НХМТ | Эливар 45НХВТЮ |
| Стадии процесса | Заготовительная | Проволока Ø4,5 мм, закалённая от 1 050° С | | |
| | Формообразование 1 | Холодная деформация: барабанное волочение с Ø4,5 до Ø3,4 мм | | |
| | Термическая 1 | Динамическое старение $\sigma=40\text{МПа}$; 500...750° С | | |
| | Формообразование 2 | Разрезка на заготовки длиной 110±1,0 мм | | |
| | Термическая 2 | Старение 500...800° С | Достаривание 500...700° С | |
| | | Пруток Ø3,4±0,15 × 110±1,0 мм | | |

Рисунок 1 Варианты технологического процесса получения прутков из эливарных сплавов

Таблица 1

Уровень специальных термоупругих свойств эливарных сплавов

| Вариант технологического процесса | Марка сплава | Холодная деформация | | ТМО (динамическое старение) | | Старение (достаривание) | |
|-----------------------------------|--------------|---------------------|---|-----------------------------|---|-------------------------|---|
| | | Q | $TKЧ \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | Q | $TKЧ \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ | Q | $TKЧ \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ |
| Базовый | 44НХМТ | 6500 | –13,5...–19,5 | – | – | 32000* | +1,6...–1,3* |
| | 45НХВТЮ | 15000 | –3,0...+3,0 | – | – | – | – |
| Предлагаемый | 44НХМТ | 6500 | –13,5...–19,5 | 14500 | –3,0...+3,0 | 34000 | +2,0...–2,0 |
| | 45НХВТЮ | 15000 | –3,0...+3,0 | 35000 | +1,5...–1,5 | – | – |

Примечание: * — зависимость специальных термоупругих свойств элива 44НХМТ от температуры старения носит выраженный экстремальный характер [1]. В таблице приведено наилучшее достигнутое сочетание уровней специальных термоупругих свойств, обеспечиваемое при старении элива 44НХМТ в узком интервале температур: 570 ± 5 °С.

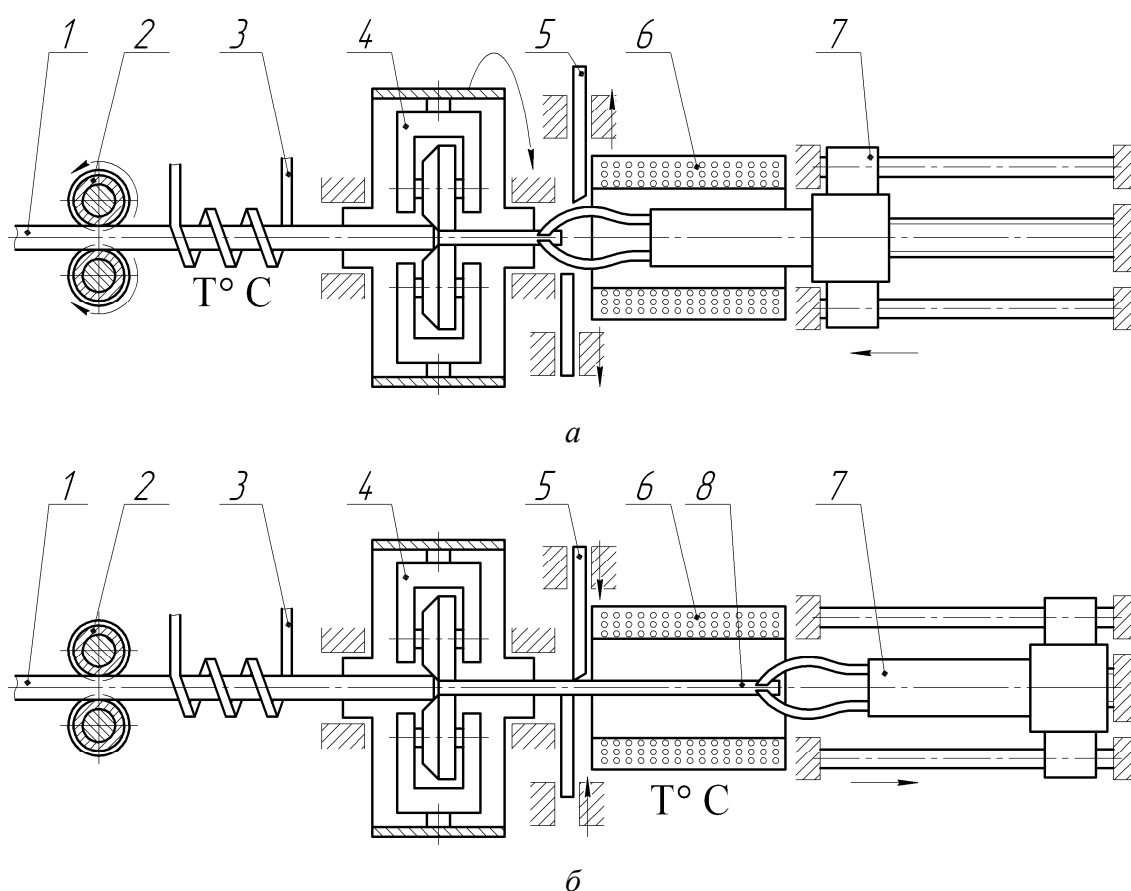


Рисунок 2 Установка для термомеханической обработки эливарных сплавов

Установка включает подающие ролики 2, индуктор предварительного подогрева проволоки 3, деформирующую головку 4, индуктор нагрева прутка 6, тянущее устройство 7 и механизм отрезки прутка 5.

Цикл работы установки следующий. В начале цикла (рис. 2, а) подающие ролики 2 обеспечивают захват и подачу проволоки 1 к деформирующей головке 4. Между подающими роликами и деформирующей головкой расположен индуктор предварительного подогрева проволоки 3. Индуктор подогревает проволоку, обеспечивая некоторое повышение пластичности материала. Температура нагрева не превышает температуру рекристаллизации обрабатываемого сплава и может регулироваться в пределах 250...400 °С.

Тянущее устройство 7 смещается в крайнее левое положение и захватывает проволоку у деформирующей головки 4.

Деформирующая головка 4 состоит из трёх свободно вращающихся роликов, расположенных равномерно по окружности полого шпинделя. В процессе волочения головка вращается с частотой 250...350 мин⁻¹, обжимая проволоку. Степень обжатия составляет 40...60 %.

Тянущее устройство 7, перемещаясь вправо от начального положения, протягивает проволоку через деформирующую головку со скоростью $v = 7...10$ м/мин. Величина тянущего усилия определялась по формуле, предложенной Р. Б. Красильщиковым для стандартных условий волочения:

$$P = K \cdot d^2 \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot \sigma_v, \quad (1)$$

где K — коэффициент, учитывающий условия волочения; d — диаметр исходной проволоки, мм; ε — единичное обжатие; σ_v — временное сопротивление разрушению обрабатываемого материала, МПа.

Под стандартными условиями волочения подразумевается:

- подготовка поверхности исходной проволоки согласно [1];
- угол рабочего конуса роликов деформирующей головки $2\alpha = 12^\circ$;
- применение при волочении смазки на основе мыльного порошка.

В указанных условиях единичное обжатие прутков из сплава 45НХВТЮ ($\sigma_s = 1210$ МПа) с $\varnothing 4,5$ мм до $\varnothing 3,4$ мм требует приложения тянущего усилия $P = 9,6$ кН. Мощность, требуемая на волочение, при этом составляет $N = 1,1 \dots 1,6$ кВт.

В конце рабочего хода тянущего устройства оно останавливается в правом крайнем положении (рис. 2, б) и развиваемое им усилие снижается до величин, при которых производится динамическое старение:

$$P_{ДС} = (0,24 \dots 0,47) \cdot \sigma_m \cdot d_1^2, \quad (2)$$

где σ_m — предел текучести обрабатываемого материала, МПа; d_1 — диаметр прутка после волочения, мм.

Для динамического старения прутков $\varnothing 3,4$ мм из сплава 45НХВТЮ ($\sigma_m = 1160$ МПа) величина расчётной нагрузки составляет $P_{ДС} = 3,2 \dots 6,3$ кН.

Также в конце рабочего хода тягового устройства индуктор предварительного нагрева проволоки 3 отключается, включается индуктор нагрева прутка 6 и нагревает прутки 8 до заданной температуры динамического старения ($500 \dots 700$ °С). Как установлено в работе [1], эливарные сплавы весьма чувствительны к температурному режиму термообработки. Поэтому контроль температуры осуществляется фотоэлектрическим пирометром с погрешностью измерений не более ± 2 °С и временем отклика не более 250 мс.

По истечении заданного времени динамического старения реле времени отключает индуктор нагрева прутка 6, одновременно запуская механизм отрезки прутка 5 (рис. 2, б).

Основные технические характеристики предлагаемой термоволоочильной установки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Техническая характеристика термоволоочильной установки

| Параметр | Значение |
|---|-----------|
| Скорость деформации, v , м/мин | 7...10 |
| Ход тянущего устройства, мм | 1 500 |
| Мощность привода тягового элемента, кВт | 4,0 |
| Наибольшее тяговое усилие, P , кН | 2,6 |
| Температура динамического старения, °С | 500...700 |
| Точность поддержания температуры динамического старения, °С | ± 3 |
| Мощность индуктора нагрева прутка, кВт | 2,5 |
| Температура подогрева проволоки, °С | 250...400 |
| Мощность индуктора подогрева проволоки, кВт | 1,5 |

Таким образом, разработанная схема термоволоочильной установки обеспечивает совмещение операций формообразования (волочение) и ТМО (динамическое старение).

Факторами, обеспечивающими повышение технико-экономических показателей ТМО эливарных сплавов с применением предлагаемой установки, являются:

1. Снижение брака по уровню специальных термоупругих свойств прутков, что

обусловлено применением более совершенной схемы контроля температуры динамического старения, характеризующейся малой погрешностью определения температуры (± 3 °С) и малой инерционностью (не более 1 с).

2. Сокращение длительности производственного цикла за счёт отсутствия пролёживания прутков между операциями волочения и динамического старения.

3. Снижение энергоёмкости процесса. Так как на операцию динамического старения приходит предварительно нагретый в процессе волочения прутки, снижение энергоёмкости составляет 1,35 кВт на одну заготовку Ø3,4×1500 мм.

4. Сокращение потребности в производственных площадях за счёт большей компактности разработанной схемы термоволочильной установки.

Выводы и направление дальнейших исследований. Применение ТМО эливарных сплавов в промышленных условиях тре-

бует разработки эффективных схем специального оборудования для её осуществления.

Перспективным направлением создания данного оборудования является совмещение в нём операций формообразования и собственно ТМО. Факторами, обуславливающими в этом случае повышение технико-экономических показателей, являются: снижение брака по уровню специальных термолучильных свойств, сокращение длительности производственного цикла, снижение энергоёмкости процесса и сокращение потребности в производственных площадях.

Библиографический список

1. Кучма, С. Н. Улучшение комплекса свойств эливарного сплава 44НХМТ методом комбинированной деформационно-термической обработки [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / Кучма Светлана Николаевна ; Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. — Харьков, 2010. — 174 с.
2. Кучма, С. Н. Получение малогабаритных прутков из сплава 44НХТМ методом динамического старения [Текст] / С. Н. Кучма, С. Ю. Стародубов // Стратегія якості у промисловості і освіті : матеріали IV міжнародної конференції. У 2-х томах. Т. 1. — Днепропетровск-Варна : Фортуна-ТУ-Варна, 2008. — С. 350–352.
3. Федеральный институт промышленной собственности. Открытые реестры [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www1.fips.ru/registers-web/>, свободный. — Загл. с экрана. — Описание основано на версии, датир. 18.09.2019.
4. Пат. 79418 Україна, МПК .C22C 19/03 ; C22C 19/05 (2006.01). Елівар на залізонікелевій основі / С. Ю. Стародубов, С. М. Кучма ; заявник та патентовласник Донбаський державний технічний університет (ДонДТУ). — № u2012 10821 ; заявл. 17.09.12 ; опубл. 25.04.13, Бюл. № 8. — 4 с. : іл.
5. Шаврин, О. И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин [Текст] / О. И. Шаврин. — М. : Машиностроение, 1983. — 176 с. : ил.

© Кучма С. Н.

© Стародубов С. Ю.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ПуХЛ ЛНУ им. В. Даля Гутько Ю. И.,
к.т.н., проф. каф. ТОМП ДонГТУ Зелинским А. Н.*

Статья поступила в редакцию 28.10.19.

к.т.н. Кучма С. М., Стародубов С. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЕЛІВАРНИХ СПЛАВІВ

Розроблено установку для термомеханічної обробки еліварних сплавів, яка забезпечує підвищення ефективності її проведення за рахунок поєднання в одному пристрої процесів пластичного деформування (волочіння) та старіння під навантаженням (динамічного старіння).

Ключові слова: еліварний сплав, установка, термомеханічна обробка, динамічне старіння, волочіння.

PhD in Engineering Kuchma S. N., Starodubov S. Yu. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**INCREASING OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS
OF THERMOMECHANICAL TREATMENT OF ELINVAR ALLOYS**

The treater for thermomechanical treatment of elinvar alloys provide increasing of efficiency of its carrying out due to combination in one device the processes of plastic deformation (drawing) and load ageing (dynamic ageing) is developed.

Key words: *elinvar alloy, treater, thermomechanical treatment, dynamic aging, drawing.*

УДК 669.04:621.771

к.т.н. Жильцов А. П.,
Челядина А. Л.
(ЛГТУ, г. Липецк, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА МОТАЛОК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС

Проведён анализ эксплуатационных параметров приводов моталок. Обосновано, что воздействия энергосиловых и скоростных параметров приводят к негативным явлениям, связанным с возникновением вибраций в элементах привода. Рассмотрены условия динамического нагружения. Разработана конструктивная схема установки редуктора на двух условно жёстких опорах, что позволит снизить величину упругой податливости и обеспечить работу редуктора и муфты в нормальном режиме. Данное конструктивное предложение снизит вибрацию в элементах привода.

Ключевые слова: полосовая моталка, динамическая нагрузка, вибрация, привод, редуктор.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В условиях производства холоднокатаных полос для реализации технологических процессов применяются различные технологические агрегаты: агрегат подготовки горячекатаных полос, дрессировочные станы, непрерывные травильные агрегаты, агрегаты термической обработки и другие, оснащённые однотипными электромеханическими приводами для разматывания и смотки рулонов.

Применительно к оборудованию данных производств и перечисленных агрегатов важными являются факторы, характеризующиеся показателями долговечности, безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости, качества, так как данные производства являются завершающими в полном металлургическом цикле. При этом эффективность производства обеспечивается не только производительностью, но и качеством холоднокатаных полос. Важнейшим условием является применение систем оценки состояния оборудования с использованием показателей надёжности [1].

Анализ состояния вопроса. К оборудованию моталок и разматывателей и их приводам в условиях технологических аг-

регатов при обработке полос предъявляются высокие требования по обеспечению стабильности процессов разматывания и смотки рулонов [2–4].

Применительно к моталкам к данным требованиям относятся:

- обеспечение натяжения полосы между подающими роликами и барабаном моталки;
- наличие индивидуального привода с электродвигателем и системой плавного регулирования скорости для работы в трёх режимах: режиме разгона до номинальной скорости смотки, заправочном режиме при захвате полосы барабаном моталки, режиме стабилизации в период смотки;
- обеспечение плотности рулона без телескопичности (центрирование);
- обеспечение минимального прогиба барабана введением дополнительной (консольной) опоры его концевой части;
- наличие двух моталок однотипной конструкции для реализации непрерывности технологического процесса;
- обеспечение надёжной работы элементов привода моталки с минимизацией отказов вследствие нарушений работоспособности.

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным, разработка технологических и технических решений, направленных на

повышение эффективной и надёжной работы моталок и их приводов, является актуальной задачей.

В приводах моталок технологических агрегатов используются различные конструктивные схемы, в том числе приведённая на рисунке 1.

Особенностью конструктивной схемы привода является применение односторонней жёсткой опоры А редуктора, при этом под второй опорой подразумевается трансмиссия, обеспечивающая передачу крутящего момента от выходного вала редуктора через зубчатую пару 4 к барабану моталки 5 (см. рис. 1).

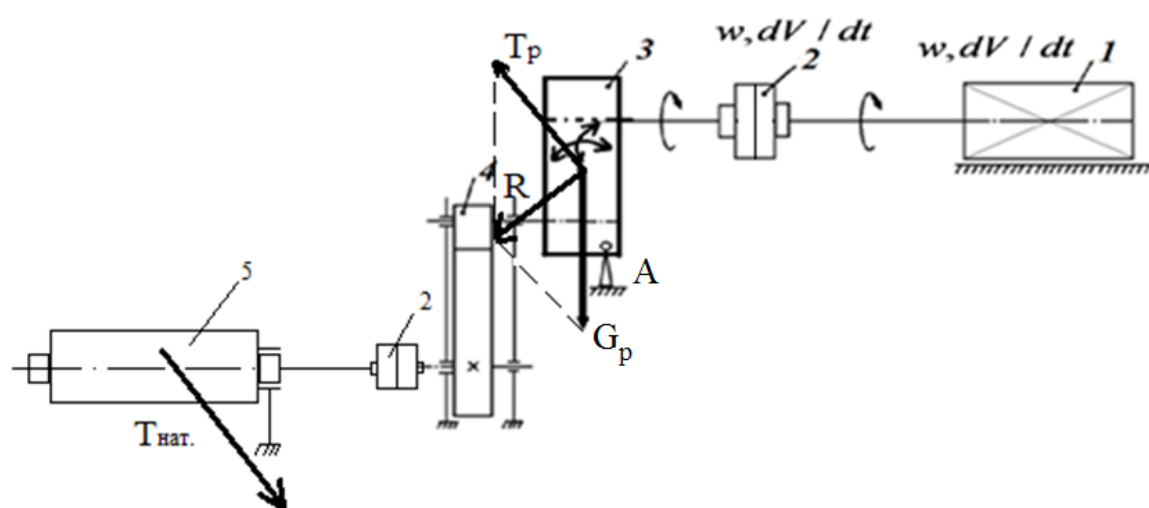
Материалы и результаты исследования. Анализ эксплуатационных параметров при эксплуатации приводов моталок показывает, что при воздействии энергосиловых и скоростных параметров наблюдаются негативные явления, связанные с возникновением вибраций в элементах привода. Это приводит к расцентровке валов в зубчатой муфте, возможному разрушению зубьев зубчатых передач редуктора. Практика эксплуатации свидетельствует о частых заменах редукторов и составляющих элементов, а также зубчатых муфт привода [4].

Установка редуктора на одностороннем кронштейне, приводит к возникновению кратковременных вибрационных нагрузок при пуске и остановке электродвигателя, что является корневой причиной расцентровки валов, выхода из строя зубчатой муфты, разрушения зубьев вала-шестерни и зубчатого колеса редуктора [4]. При этом динамическое нагружение, следствием которого является в том числе возникновение вибрационных нагрузок, приводит к изменению условий натяжения полосы и снижению качества смотки [5, 6].

Источником вибрационных возмущений и действующих дополнительных динамических нагрузок на консольно-закреплённый редуктор является пусковой момент электродвигателя. В течение переходного режима от пуска до заправочного режима и, в дальнейшем, перехода к стабильной смотке максимальный пусковой момент, определяемый величиной номинального момента $M_{ном}$ и коэффициентом кратности k_n по формуле

$$M_{пуск} = M_{ном} \cdot k_n, \quad (1)$$

за время разгона τ_p стабилизируется до величины номинального момента $M_{ном}$ в течение времени стабилизации τ_c .



1 — электродвигатель, 2 — зубчатая муфта, 3 — редуктор, 4 — зубчатая передача, 5 — барабан моталки

Рисунок 1 Схема нагружения редуктора привода моталки

При реализации режима разгона, характеризующегося возникновением нестационарного процесса, необходимо учесть динамические воздействия на редуктор как одномассовую систему. В данном случае коэффициент кратности k_n , который составляет величину 2,0–2,2, можно характеризовать как условный коэффициент динамичности. При этом нагрузка $Q_{дин}$, действующая на редуктор, определяется по следующему выражению:

$$Q_{дин} = k_n \cdot G_p. \quad (2)$$

Наряду с динамической нагрузкой $Q_{дин}$ на редуктор воздействует реактивный момент со стороны барабана моталки. Это связано с тем, что в процессе смотки происходит прогиб барабана во взаимно перпендикулярных плоскостях, что оказывает через трансмиссию негативное воздействие момента натяжения $M_{нат}$ на элементы привода: зубчатую пару и редуктор, т. е. возникает реактивная нагрузка $T_{реакт}$ на редуктор, определяемая по выражению

$$T_{реакт} = k_k \cdot T_{нат}, \quad (3)$$

где k_k — коэффициент коррекции передачи усилия натяжения $T_{нат}$ через трансмиссию на редуктор; принят равным 0,5.

Воздействие на редуктор нагрузок $T_{реакт}$ и $Q_{дин}$ приводит к упругой податливости редуктора в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Этот процесс характерен для периода разгона электродвигателя. Но при этом упругая податливость Π^V редуктора приводит к смещению ведущего вала редуктора, что, в свою очередь, воздействует на радиальное и угловое смещение валов в зубчатой муфте. В соответствии с требованиями ГОСТ 50895–96 [7] для зубчатых муфт с передаваемым крутящим моментом $M_{кр} = 10–30$ кН·м допустимое смещение Δ составляет 0,4–0,6 мм, допус-

каемое смещение $\gamma = 0^\circ 30'–1^\circ 15'$. Поэтому необходимо определить диапазон величин упругой податливости редуктора, который может характеризовать нормальный режим эксплуатации при соблюдении требований ГОСТ по величинам Δ и γ , и критический режим, для которого параметры Δ и γ превышают допускаемые значения в соответствии с требованиями ГОСТ.

В соответствии с рассмотренным выше силовым анализом установлено, что корневой причиной отказов зубчатой муфты в составе привода является силовое воздействие на консольно-закреплённый редуктор со стороны привода в виде динамической нагрузки $Q_{дин}$ и со стороны барабана моталки в виде реактивной нагрузки $T_{реакт}$. На рисунке 2 показана расчётная схема нагружения редуктора.

Редуктор как элемент нагружения можно охарактеризовать как одномассовую систему, воспринимающую перечисленные выше энергосиловые и скоростные параметры. Механическая модель данной одномассовой системы приведена на рисунке 3.

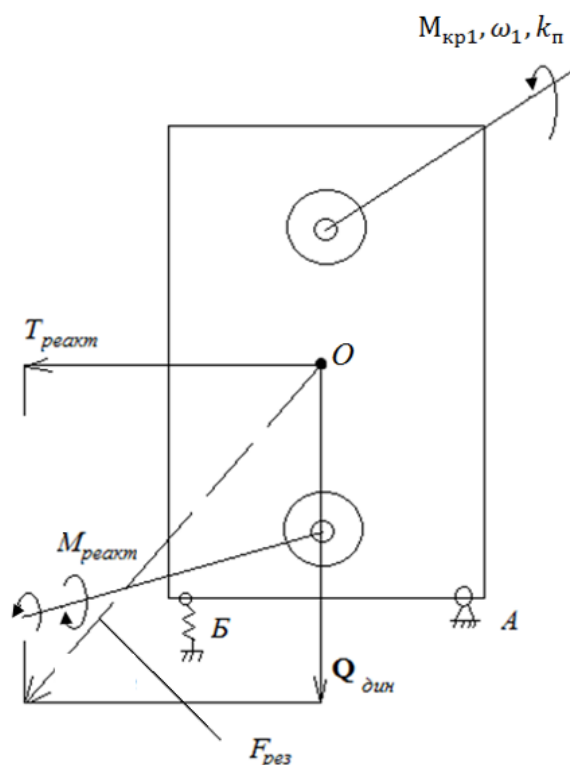
В данном случае механическая модель (см. рис. 3) динамической системы представляет собой материальную точку О массой m на условно жёсткой опоре А и упруго податливой опоре Б с жёсткостями K_6 и K_2 , движущуюся под действием сил $Q_{дин}$ и $T_{реакт}$. Опора А принята условно жёсткой ввиду наличия неуправляемых зазоров в механических соединениях при ослаблении крепежа с учётом возможного износа механических соединений и имеющихся гарантированных зазоров. Очевидно, что величина фактического положения центра масс редуктора О (см. рис. 3) характеризуется величиной упругой податливости Π^V .

Величина Π^V характеризует максимальную величину смещения центра масс О и определяется упругой податливостью x_{max}^n в горизонтальной плоскости от

воздействия реактивной нагрузки $T_{реакт}$ со стороны барабана моталки и упругой податливостью y_{max}^n в вертикальной плос-

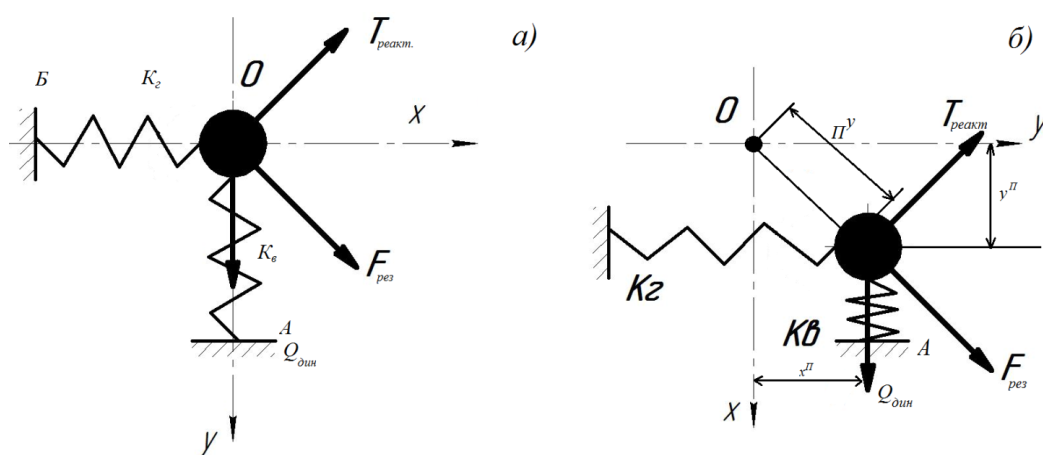
кости от величины динамической нагрузки $Q_{дин}$ со стороны привода:

$$\Pi_{max}^y = \sqrt{x_{max}^2 + y_{max}^2}. \quad (4)$$



O — центр масс редуктора; A — условно жёсткая опора; Б — условно податливая опора

Рисунок 2 Расчётная схема редуктора



а) начальное положение; б) рабочее положение (в период разгона)

Рисунок 3 Механическая модель редуктора как одномассовой системы

Можно сделать вывод, что основной задачей является расчёт упругих податливостей x^n и y^n . При решении задачи целесообразно использовать метод математического моделирования [8].

Математическая модель данной одно-массовой системы представляет собой систему дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{T_{реакт}}{m} - \frac{k_{\Gamma}}{m} \cdot x - \frac{c}{m} \cdot \frac{dx}{dt} + \omega^2 \cdot y \cdot \cos \omega t, \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{Q_{дин}}{m} - \frac{k_E}{m} \cdot y - \frac{c}{m} \cdot \frac{dy}{dt} + \omega^2 \cdot x \cdot \sin \omega t, \end{cases} \quad (5)$$

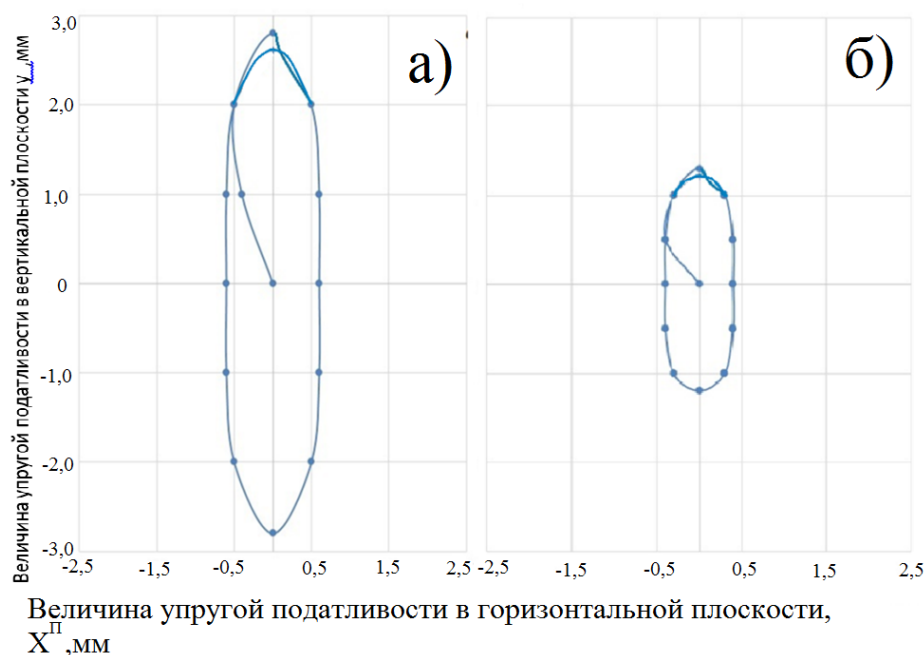
$$\gamma = \frac{1}{m} \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (6)$$

где c — величина допускаемой линейной податливости.

Для решения данной системы уравнений целесообразно использовать метод Рунге – Кутты в программной среде Mathcad. Решение данной системы уравнений позволяет определить расчётные траек-

тории смещения центра масс О редуктора в горизонтальной (текущая величина x^n) и вертикальной (текущая величина y^n) плоскостях в начальный период, т. е. за время разгона электродвигателя, что определяет текущее значение результирующей величины упругой податливости Π^V .

В соответствии с выбранной методикой получены результаты, которые характеризуют траекторию смещения центра масс редуктора как одномассовой системы. На рисунке 4 для сравнения приведены траектории смещения центра масс редуктора для режима разгона двигателя (см. рис. 4, а) и режима стабилизации (см. рис. 4, б). Расчётная траектория, приведённая на рисунке 4, б, характеризуется минимальным значением величины упругой податливости, которую необходимо обеспечить во время разгона двигателя. Для обоих режимов характерной является эллипсоидная траектория с максимальным значением параметра y_{\max}^n на первом витке разгона.



а — в период разгона двигателя; б — в период стабилизации двигателя

Рисунок 4 Расчётная траектория центра масс О редуктора

При максимальном значении нагрузок (режим 1) величина y_{\max}^n достигает значения 2,88 мм при минимальном значении нагрузок 1,26 мм (режим 2), при этом коэффициент неравномерности $k = \frac{y_{\max}^n(1)}{y_{\max}^n(2)}$

составляет 2,29. В связи со значительной величиной коэффициента неравномерности проведена оценка степени влияния соотношения нагрузок $Q_{\text{дин}}$ и $T_{\text{реакт}}$ на основе построенной области значений упругой податливости, которая приведена на рисунке 5.

В полученной области значений Π^Y (см. рис. 5) необходимо выделить 3 зоны:

- зона I — нормальный режим;
- зона II — предкритический режим;
- зона III — критический режим.

Нормальный режим характеризуется минимальными значениями Π^Y в пределах 0,1–1,2 мм, при этом значение $Q_{\text{дин}}$ состав-

ляет не более 1,6 кН, $T_{\text{реакт}}$ — не более 3,0 кН. Для предкритического режима величина Π^Y находится в пределах 1,3–1,7 мм со значениями нагрузок $2,3 \text{ кН} \geq Q_{\text{дин}} \geq 1,6 \text{ кН}$, $T_{\text{реакт}}$ — не более 3,0 кН.

Критический режим является опасным при появлении максимальной упругой податливости, достигающей величины 3,0 мм при воздействии критических нагрузок. На рисунке 6 приведена зависимость угла смещения валов в зубчатой муфте от величины упругой податливости для трёх режимов. Данная зависимость получена с учётом полученных величин Π^Y и геометрических размеров ведущего вала редуктора при его соединении с зубчатой муфтой. Для режимов II и III угол смещения валов выходит за пределы допустимого, что является причиной преждевременного выхода из строя зубчатой муфты.

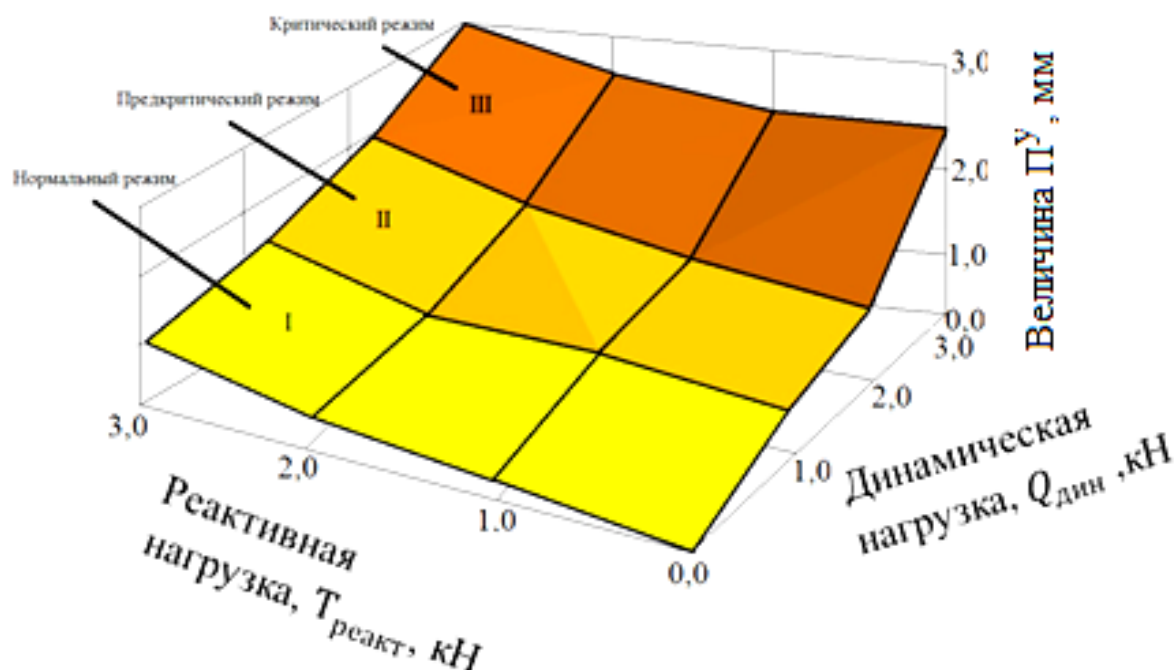
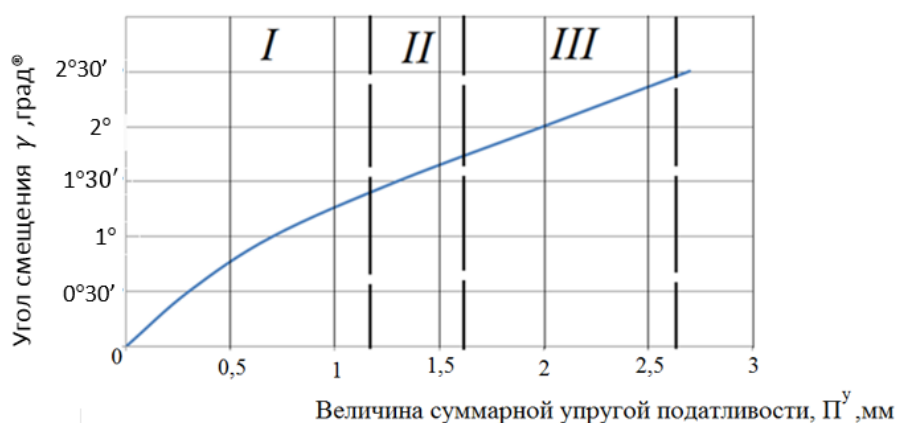


Рисунок 5 Критериальная область величин упругой податливости



I — нормальный режим, II — предкритический режим, III — критический режим

Рисунок 6 Зависимость угла смещения концов валов в зубчатой муфте от величины суммарной упругой податливости редуктора

Выводы:

1. Величина упругой податливости в большей степени зависит от уровня нагрузки $Q_{дин}$, в меньшей — от уровня нагрузки $T_{реакт}$.

2. Предкритический и особенно критический режимы эксплуатации при определённых значениях действующих нагрузок приводят к неблагоприятному воздей-

вию на показатели работоспособности зубчатой муфты.

3. Для рассматриваемой конструктивной схемы установка редуктора на двух условно жёстких опорах позволяет снизить величину упругой податливости и обеспечить работу редуктора и муфты в нормальном режиме.

Библиографический список

1. 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 (1043). — С. 277–330.
2. Цупров, А. Н. Анализ конструкций узлов намотки моталок тонколистовых прокатных станов [Текст] / А. Н. Цупров, А. П. Жильцов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 6–3. — С. 516–517.
3. Жильцов, А. П. Повышение жёсткости системы «контропора – барабан» моталки листового стана холодной прокатки [Текст] / А. П. Жильцов, А. Л. Челядина // Вестник ЛГТУ. — Липецк : издательство ЛГТУ, 2018. — № 3 (37). — С. 46–51.
4. Костров, Ю. К. Сравнительный анализ схем приводов технологических агрегатов в условиях ЦДС ПАО «НЛМК» [Текст] / Ю. К. Костров, А. П. Жильцов // Повышение эффективности металлургического производства : сборник тезисов докладов XXVI областной научно-технической конференции. — Липецк : издательство ЛГТУ, 2018. — 192 с.
5. Жильцов, А. П. Формирование натяжения при намотке полосы в условиях динамического нагружения [Текст] / А. П. Жильцов, А. А. Харитоненко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2018. — № 12 (55). — С. 91–96.
6. Маслов, Е. А. Алгоритм обработки информации о натяжении полосы для идентификации вибраций на станах бесконечной прокатки на основе вейвлет-преобразования [Текст] / Е. А. Маслов, К. А. Харахнин, А. В. Кожевников // Производство проката. — 2010. — № 10. — С. 36–39.

7. ГОСТ 50895–96. Муфты зубчатые. Технические условия. — Введ. 1996-04-23. — М. : Издательство стандартов, 1997. — 26 с.

8. Усов, С. В. Математическое моделирование процесса намотки тонкой стальной полосы в рулон [Текст] / С. В. Усов, В. Н. Мещеряков // Известия ТулГТУ. Технические науки. — Тула : ТулГТУ, 2014. — Вып. 10.4.2. — С. 157–162.

© Жильцов А. П.

© Челябинина А. Л.

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

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

к.т.н. Жильцов О. П., Челябинина А. Л. (ЛДТУ, м. Липецк, Росія)

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДА МОТАЛОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ АГРЕГАТІВ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОКАТАНИХ СМУГ

Проведено аналіз експлуатаційних параметрів приводів моталок. Обґрунтовано, що впливи енергосилових і швидкісних параметрів призводять до негативних явищ, що пов'язані з виникненням вібрацій в елементах привода. Розглянуто умови динамічного навантаження. Розроблено конструктивну схему установки редуктора на двох умовно жорстких опорах, що дозволить знизити величину пружної піддатливості і забезпечити роботу редуктора і муфти в нормальному режимі. Дана конструктивна пропозиція знизить вібрацію в елементах привода.

Ключові слова: смугова моталка, динамічне навантаження, вібрація, привод, редуктор.

PhD in Engineering Zhiltsov A. P., Cheliadina A. L. (LSTU, Lipetsk, the Russian Federation)

STUDYING THE LOAD PARAMETERS OF THE DRIVE ELEMENTS OF RECOILERS OF TECHNOLOGICAL UNITS UNDER THE CONDITIONS OF COLD-ROLLED STRIPS PRODUCTION

There has been carried out the analysis of operating parameters of recoiler drives. It is proved that the impact of energy-power and rate parameters leads to negative phenomena associated with the occurrence of vibrations in the drive elements. The conditions for dynamic loading were scrutinized. There has been developed the design scheme of arrangement the reductor on two conditionally rigid supports that will allow reducing the size of elastic pliability and ensure operating of the reductor and coupling in a normal mode. This constructive suggestion will reduce vibration in the drive elements.

Key words: strip recoiler, dynamic load, vibration, drive, reductor.

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***Леонов А. А.*

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПОРНО-ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ ...5

Сидов В. Н., Гришко Н. В.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ

ОБРУШЕННЫХ ПОРОД 15

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ*Рябичева Л. А., Коробко Т. Б., Бабич И. Н.*

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ

СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ РК-ПРЕССОВАНИИ 25

Бабанин А. Я., Пономаренко А. Г., Первухин Д. В.

СТРУКТУРНО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБРАЗУЮЩИХСЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ

ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИСАДКИ

РАСКИСЛИТЕЛЕЙ 33

Тюляев Д. В., Куберский С. В., Пономаренко А. Г., Тюляев А. В.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК АГЛОМЕРАТА В КОНВЕРТЕРНУЮ ШИХТУ НА ИЗНОС

ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТОЙ ФУТЕРОВКИ 39

Филатов М. А., Левченко Э. П., Карпук И. А., Зубков В. Е., Кащеев А. В.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

ДЛЯ ПРОБОПРИГОТОВЛЕНИЯ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 47

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА*Будзило Е. Е., Горовая Н. А.*

К ВОПРОСУ КАЧЕСТВЕННОГО ПРОВЕДЕНИЯ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ (НА ПРИМЕРЕ

ОБСЛЕДОВАНИЯ ОКРАСКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ КОПРА ШАХТЫ

им. С. ТЮЛЕНИНА ГУП ЛНР «УГЛЕРЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ») 55

Николаева Е. К., Гречишкина Е. В.

ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН ЛАБОРАТОРНОГО КОРПУСА ДонГТУ 61

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ*Еронько С. П., Ткачёв М. Ю., Понамарёва Е. А., Сидоров В. А., Ошовская Е. В.*

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН ОГНЕУПОРАМИ

КОВШОВОГО ЗАТВОРА В ПРОЦЕССЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 69

Шаповалов В. И., Чекалов А. Н., Лавренчук К. П., Стародубов С. Ю.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

С РК-ПРОФИЛЕМ В ЦИКЛЕ РАБОТЫ ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ АВТОМАТОВ 78

Чебан В. Г., Зубков В. Е., Шаповалов В. И.

МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ С КЛИНООБРАЗНЫМИ НАПОРНЫМИ КАНАЛАМИ 85

Кучма С. Н., Стародубов С. Ю.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛИНВАРНЫХ СПЛАВОВ 92

Жильцов А. П., Челядина А. Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА МОТАЛОК

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

ХОЛОДНОКАТАНЫХ ПОЛОС 99

ЗМІСТ**НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ**

| | |
|---|----|
| <i>Леонов А. О.</i> ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПІРНО-ПІДДАТЛИВОГО КРІПЛЕННЯ ..5 | |
| <i>Сіидов В. М., Гришко Н. В.</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ УЩІЛЬНЕННЯ ОБВАЛЕНИХ ПОРІД | 15 |

МЕТАЛУРГІЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

| | |
|--|----|
| <i>Рябічева Л. О., Коробко Т. Б., Бабіч І. М.</i> ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОРОШКОВИХ ПОРИСТИХ ЗАГОТОВОК ПІД ЧАС РКК-ПРЕССУВАННЯ | 25 |
| <i>Бабанін А. Я., Пономаренко О. Г., Первухін Д. В.</i> СТРУКТУРНО-ХІМІЧНИЙ СТАН НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ, В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПОСЛІДОВНОСТІ ПРИСАДКИ РОЗКИСЛЮВАЧІВ | 33 |
| <i>Тюляєв Д. В., Куберський С. В., Пономаренко О. Г., Тюляєв О. В.</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОБАВОК АГЛОМЕРАТУ В КОНВЕРТЕРНУ ШИХТУ НА ЗНОШЕННЯ ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВОЇ ФУТЕРОВКИ | 39 |
| <i>Філатов М. А., Левченко Е. П., Карпук І. А., Зубков В. Є., Кащєєв А. В.</i> ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СПОСІБ ПОДРІВНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПРОБОПРИГОТУВАННЯ В АЛОМЕРАЦІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ | 47 |

БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

| | |
|---|----|
| <i>Будзило О. Є., Горова Н. А.</i> ДО ПИТАННЯ ЯКІСНОГО ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНИХ ОЗДОБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ (НА ПРИКЛАДІ ОБСТЕЖЕННЯ ПОФАРБУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ КОПРА ВВК ШАХТИ ім. С. ТЮЛЕНІНА ДУП ЛНР «ВУГЛЕРЕСТРУКТУРІЗАЦІЯ») | 55 |
| <i>Ніколаєва О. К., Гречишкіна О. В.</i> ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ЗОВНІШНІХ СТІН ЛАБОРАТОРНОГО КОРПУСУ ДонДТУ | 61 |

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАШИНОЗНАВСТВО

| | |
|--|----|
| <i>Єронько С. П., Ткачов М. Ю., Понамарьова О. О., Сидоров В. А., Ошовська О. В.</i> ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПОГЛИНАННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ ВОГNETРИВАМИ КОВШОВОГО ЗАТВОРУ В ПРОЦЕСІ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ | 69 |
| <i>Шаповалов В. І., Чекалов О. М., Лавренчук К. П., Стародубов С. Ю.</i> ДОДАТКОВИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ З РК-ПРОФІЛЕМ У ЦИКЛІ РОБОТИ ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНИХ АВТОМАТІВ | 78 |
| <i>Чебан В. Г., Зубков В. Є., Шаповалов В. І.</i> МЕМБРАННИЙ АПАРАТ З КЛИНОПОДІБНИМИ НАПІРНИМИ КАНАЛАМИ | 85 |
| <i>Кучма С. М., Стародубов С. Ю.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЕЛІНВАРНИХ СПЛАВІВ | 92 |
| <i>Жильцов О. П., Челядіна А. Л.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДА МОТАЛОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ АГРЕГАТІВ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОКАТАНИХ СМУГ | 99 |

CONTENT**GEOSCIENCES**

| | |
|---|----|
| <i>Leonov A. A.</i> LABORATORY RESEARCHES OF THE PARAMETERS OF SPACER-PLIABLE SUPPORT | 5 |
| <i>Siidov V. N., Grishko N. V.</i> IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR DETERMINING THE DEGREE OF ROCK COMPACTION | 15 |

METALLURGY AND MATERIAL SCIENCES

| | |
|---|----|
| <i>Ryabicheva L. A., Korobko T. B., Babich I. N.</i> EFFECT OF DEFORMATION RATE ON THE STRESS-STRAIN STATE OF POWDER POROUS BLANKS DURING EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING (ECAP) | 25 |
| <i>Babanin A. Ya., Ponomarenko A. G., Pervukhin D. V.</i> STRUCTURAL AND CHEMICAL STATE OF THE FORMING NON-METALLIC INCLUSIONS DEPENDING ON SEQUENCE OF ADDING OF DEOXIDIZERS | 33 |
| <i>Tiuliaev D. V., Kuberskiy S. V., Ponomarenko A. G., Tiuliaev A. V.</i> ANALYZING THE INFLUENCE OF SINTER ADDITIVES TO CONVERTER MIXTURE ON WEAR OF THE PERICLASE-CARBONACEOUS LINING | 39 |
| <i>Filatov M. A., Levchenko E. P., Karpuk I. A., Zubkov V. E., Kashcheev A. V.</i> ELECTROMAGNETIC METHOD OF GRINDING MATERIALS AND ITS USING FOR SAMPLE PREPARATION IN SINTERING | 47 |

CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

| | |
|--|----|
| <i>Budzilo E. E., Gorovaia N. A.</i> THE QUESTION OF QUALITATIVE FINISHING WORK (ON THE EXAMPLE OF SURVEYING THE PAINTING OF METAL STRUCTURES OF PITHEAD DRAINAGE OF MINE NAMED AFTER S. TYULENIN SUE LPR "UGLERESTRUKTURIZATIA") | 55 |
| <i>Nikolaieva E. K., Grechishkina E. V.</i> THERMOMODERNIZATION OF THE OUTER WALLS OF THE LABORATORY BUILDING OF DonSTU | 61 |

MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

| | |
|---|----|
| <i>Eron'ko S. P., Tkachov M. Yu., Ponamaryova E. A., Sidorov V. A., Oshovskaya E. V.</i> ASSESSMENTS FOR THE INTENSITY OF ABSORPTION OF ELASTIC WAVES BY LADLE SLIDE REFRACTORIES DURING VIBRATION IMPACT | 69 |
| <i>Shapovalov V. I., Chekalov A. N., Lavrenchuk K. P., Starodubov S. Yu.</i> ADD-ON DEVICE FOR SURFACE TREATMENT WITH EC-PROFILE IN THE CYCLE OF AUTOMATIC TURRET LATHES | 78 |
| <i>Cheban V. G., Zubkov V. E., Shapovalov V. I.</i> MEMBRANE APPARATUS WITH WEDGE-SHAPED PRESSURE CHANNELS | 85 |
| <i>Kuchma S. N., Starodubov S. Yu.</i> INCREASING OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THERMOMECHANICAL TREATMENT OF ELINVAR ALLOYS | 92 |
| <i>Zhiltsov A. P., Cheliadina A. L.</i> STUDYING THE LOAD PARAMETERS OF THE DRIVE ELEMENTS OF RECOILERS OF TECHNOLOGICAL UNITS UNDER THE CONDITIONS OF COLD-ROLLED STRIPS PRODUCTION | 99 |

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 16 (59) 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 № 4 від 29.11.2019)*

Включений до наукометричної бази даних РІНЦ

Формат 60×84¹/₈
Ум. друк. арк. 14,3
Зам. № 310
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.education
Web-site: http://www.dstu.education

ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИЙ ЦЕНТР,
ауд. 2113, т./факс 2-58-59

Свідоцтво про державну реєстрацію видавця,
виготовлювача

і розповсюджувача засобу масової інформації
МІ-СГР ВД 000055 від 05.02.2016

Головний редактор

Зінченко А. М. — к.е.н., 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 16 (59) 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 № 4 dated 29.11.2019)*

Added to scientometrical database of RSCI

Format 60×84½
Conventional printed sheet 14,3
Order № 310

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.

Dolzhiykov 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