

Научный журнал

ВЕСТНИК

Сибирского
государственного
индустриального
университета

№ 2 (20), 2017

Основан в 2012 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Редакционная коллегия

М.В. Темлянец
(главный редактор)
С.В. Коновалов
(отв. секретарь)
П.П. Баранов
Е.П. Волынкина
Г.В. Галевский
В.Ф. Горюшкин
В.Е. Громов
Л.Т. Дворников
Жан-Мари Дрезет
Стефан Золотарефф
Пенг Као
С.М. Кулаков
А.Г. Никитин
Е.Г. Оршанская
Т.В. Петрова
Е.В. Протопопов
В.И. Пантелеев
Арвинд Сингх
А.Ю. Столбоушкин
И.А. Султангузин
А.В. Феоктистов
В.Н. Фрянов
В.П. Цымбал
Си Чжан Чен

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В. Изучение влияния введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co.....4

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

Ремизов А.В., Риб С.В. Совершенствование бесцеликовых способов охраны повторно используемых подготовительных выработок.....9

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

Дворников Л.Т., Береснев Д.А. Задача структурного синтеза цепей М. Грюблера с поступательными кинематическими парами.....12

Савельев А.Н., Локтева Н.А., Королев В.С. Оценка нагруженности элементов прокатных клетей, связанных между собой через прокатываемую полосу.....16

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Матехина О.В. Современное состояние жилого фонда и вопросы его реконструкции.....21
Панова В.Ф., Камбалина И.В., Панов С.А. Повышение долговечности строительных объектов.....25
Попова Е.И., Башенко Н.Н., Сорвачёв А.И., Чуприна О.Д. Поверхность купола как элемент энергоэффективности ограждающих конструкций.....30
Осипов Ю.К. Городской центр дополнительного образования школьников – новый тип здания городской структуры.....36

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Волынкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России.....43
Павлович Л.Б., Дятлова К.А. Катализаторы очистки газов от углеводородов и оксида углерода (II).....50
Павлович Л.Б., Шалаева Н.А. Каталитическая очистка выбросов воздушников коксохимического производства.....54
Стерлигов В.В., Козлова Н.Е., Абдыкалык Т.Е. Комплексная стоимостная оценка энергоэкологического качества топлива...60

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ

К 65-летию со дня рождения и 40-летию научной и педагогической деятельности Галевского Геннадия Владиславовича.....65
К 65-летию Андрея Ростиславовича Фастыковского.....67

Рефераты.....68
К сведению авторов.....74

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-52991 от 01.03.2013 г.

Адрес редакции:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 433 М
тел. 8-3843-74-86-28
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)
e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru

Адрес издателя:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 336 Г
тел. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:

654007, Кемеровская обл., г. Ново-
кузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский
государственный
индустриальный университет
каб. 280 Г
тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:

Объединенный каталог «Пресса
России» – 41270

Подписано в печать

26.06.2016 г.

Выход в свет

29.06.2016 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл.печ.л. 4,5.

Уч.-изд.л. 4,9.

Тираж 300 экз.

Заказ № 393.

Цена свободная.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.791.92:669.018.25

А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский

Сибирский государственный индустриальный университет

**ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО
ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co ПРИ
ВВЕДЕНИИ ВОЛЬФРАМА И ХРОМА**

Механизмы машин горного оборудования, испытывающие абразивное и ударное изнашивание при эксплуатации, преждевременно выходят из строя. Износ рабочих поверхностей вызывает необходимость в проведении их восстановления. Поэтому разработка материалов, значительно повышающих износостойкость таких деталей, и использование технологии их восстановления, является важной задачей. Наиболее перспективным является использование наплавки порошковой проволокой на изнашивающиеся поверхности деталей. Для этих целей в нашей стране и за рубежом ведется разработка и изготовление специальных наплавочных порошковых проволок [1 – 6]. Благодаря оптимально подобранному способу легирования наплавленные покрытия обладают высокими значениями твердости, абразивной и ударно-абразивной износостойкости. Широкое распространение для наплавки абразивно-изнашивающихся изделий получили наплавочные проволоки систем Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo типа А и В по классификации МИС [7]. В настоящее время в нашей стране широко используются порошковые проволоки такой системы фирмы DRATEC (Германия) марки DT-SG 600 F и порошковые проволоки фирмы ESAB марок OK Tubrodur 15.52, OK Tubrodur 58 O/G M.

Настоящая работа продолжает начатые исследования по созданию новых составов порошковых проволок, работающих в условиях абразивного износа в горнорудной промышленности [8 – 10], в частности, изучение влияния использования вольфрама и хрома при изготовлении опытных образцов проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co на степень износа и твердость наплавленного слоя.

Проволоку изготавливали на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки составил 5 мм, оболочка выполнена из стальной (марки Ст3) ленты. В качестве наполнителя использовали соответствующие порошковые материалы: порошок железа марки

ПЖВ1 по ГОСТ 9849–86, порошок ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ 1415–93, порошок углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755–91, порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722–97, порошок ферромolibдена марки ФМо60 по ГОСТ 4759–91, порошок феррованадия марки ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130–94, порошок кобальта ПК-1У по ГОСТ 9721–79. Также использовали порошок со следующим составом компонентов: 21 – 46,23 % Al_2O_3 ; 18 – 27 % F; 8 – 15 % Na_2O ; 0,4 – 6,0 % K_2O ; 0,7 – 2,3 % CaO; 0,5 – 2,48 % Si_2O ; 2,1 – 3,27 % Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 % $C_{общ}$; 0,07 – 0,9 % MnO; 0,06 – 0,9 % MgO; 0,09 – 0,19 % S; 0,1 – 0,18 % P.

Наплавку изготовленной проволокой проводили под флюсом АН-26С на пластины из стали марки Ст3 в шесть слоев (для исключения перемешивания наплавляемого металла с подложкой) при помощи сварочного трактора ASAW-1250 с режимом наплавки $I = 450$ А, $U = 30$ В, $V = 10$ см/мин. Далее пластины разрезались на соответствующие образцы для испытаний. Химический состав исследуемых наплавленных образцов определяли по ГОСТ 10543–98 рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Твердость изучаемых образцов измерялась с помощью твердомера МЕТ-ДУ. Металлографический анализ с целью определения степени влияния изменения химического состава на параметры микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при диапазоне увеличений в 100 – 1000 крат после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639–82 при увеличении в 100 раз. Размер игл мартенсита определяли по ГОСТ 8233–56 при увеличении в 1000 раз. Результаты перечисленных выше исследований приведены в табл. 1. Исследование образцов, вырезанных в продольном направлении наплавленного слоя, на наличие неметаллических включений

Химический состав, содержание водорода и твердость наплавленных слоев

Номер образца	Массовая доля элементов %															[H], см ³ /100 г	Твердость образцов HRC
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	V	Co	W	Al	Cu	Ti	S	P		
1 Г9	0,19	0,77	0,61	4,17	0,34	0,38	0,01	0,02	0,05	0,002	0,01	0,07	0,02	0,054	0,024	2,4	44,5
2 Г10	0,19	0,63	0,65	4,06	0,30	0,38	0,01	0,03	0,06	0,001	0,01	0,08	0,03	0,056	0,019	1,7	43
3 Г11	0,20	0,59	0,61	4,12	0,30	0,38	0,01	0,02	0,12	0,001	0,02	0,06	0,04	0,049	0,019	1,9	46
4 Г12	0,20	0,64	0,6	4,03	0,30	0,39	0,01	0,03	0,20	0,002	0,01	0,08	0,03	0,058	0,021	2,0	30
5 Г13	0,20	0,59	0,56	0,01	0,30	0,33	0,01	0,01	0,05	7,74	0,01	0,1	0,02	0,072	0,017	1,8	22
6 Г14	0,20	0,55	0,49	0,01	0,26	0,34	0,01	0,01	0,07	7,42	0,02	0,09	0,02	0,048	0,014	2,0	25
7 Г15	0,20	0,58	0,52	0,01	0,28	0,34	0,01	0,01	0,07	7,55	0,05	0,09	0,03	0,038	0,014	1,7	21
8 Г16	0,21	0,55	0,52	0,01	0,27	0,35	0,01	0,02	0,06	7,65	0,05	0,08	0,02	0,036	0,017	1,9	25

Характеристики неметаллических включений и структуры исследуемых образцов

Номер образца	Загрязненность неметаллическими включениями, балл		Величина зерна аустенита, номер
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные	
1Г9	1б, 2а	1а	7, 6
2Г10	2б, 1б, 2а, 3а	1а, 2а	6, 7
3Г11	1б, 2б, 2а, 3а	1 а, 2а	6, 7
4Г12	1б, 2б, 3а	1 а, 2а	7, 6
5Г13	1б, 2б, 2, 5а	1а	5, 6
6Г14	1б, 2б, 4б	1а	6
7Г15	1б, 2б, 3б	1а	5
8Г16	2б, 4б	1а, 2а	6

осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778–70 при увеличении в 100 крат, результаты приведены в табл. 2.

Металлографический анализ показал, что микроструктура образцов с использованием хрома при их изготовлении (образцы №№ 1Г9 – 4Г12) (рис. 1, а – г) представляет собой мартенсит в первичных зернах аустенита, по границам которых находятся незамкнутые тонкие прослойки, предположительно состоящие из δ-феррита. По телу и границам зерен распределены точечные дисперсные включения. В структуре образцов №№ 1Г9, 3Г11 и 4Г12 наблюдается крупноигльчатый мартенсит (балл 7) с размером игл 3 – 14, 8 – 12 и 3 – 11 мкм соответственно. В структуре образца № 2Г10 присутствует мелкоигльчатый и среднеигльчатый мартенсит (балл 4, 5). Размер игл мартенсита в этом случае составляет 3 – 6 мкм.

Величина бывшего зерна аустенита в структуре образцов №№ 1Г9 – 4Г12 по шкале зернистости соответствует № 7, 6 и № 6, 7 (табл. 2).

При использовании вольфрама (образцы №№ 5Г13 – 8Г16) наплавленный слой имеет феррито-перлитную структуру. По телу зерен и по ферриту распределены точечные включения (рис. 1, д – з). Величина бывшего зерна аустенита соответствует № 6 и № 5, 6 (табл. 2).

В результате оценки загрязненности наплавленного слоя неметаллическими включениями установлено присутствие оксидных неметаллических включений, в частности силикатов недеформирующихся и оксидов точечных (табл. 2).

Установлено, что изменения микроструктуры при варьировании химического состава порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Mo – Ni – V – Co оказывают влияние на свойства наплавленного металла. Так, твердость наплавленного металла с мартенситной структурой, полученной при введении хрома в шихту порошковой проволоки, составляет 30 – 46 HRC (табл. 1, рис. 2). Высокая твердость наплавленного слоя приводит к образованию трещин на поверхности слоя, что оказывает негативное влияние на работу деталей, работающих в условиях ударного износа, сопровождающегося вибрационным воздействием.

Значения твердости наплавленного слоя с феррито-перлитной структурой, обеспеченной использованием вольфрама, ниже (21 – 25 HRC) (табл. 1, рис. 3). Таким образом, наибольшее упрочнение наплавленного слоя наблюдается при мартенситной структуре, по сравнению с феррито-перлитной, что согласуется с литературными данными [11].

Важно отметить, что твердость наплавленного слоя увеличивается при уменьшении размера бывшего зерна аустенита. В результате использования хрома наплавленный металл имеет меньший размер бывшего зерна аустенита (№ 7, 6 и № 6, 7) и более высокие значения твердости, чем при введении в состав шихты порошковой проволоки вольфрама (размер первичного зерна аустенита № 6 и № 5, 6).

Выводы. Введение в систему Fe – C – Si – Mn – Mo – Ni – V – Co хрома и вольфрама раздельно друг от друга оказывает влияние на

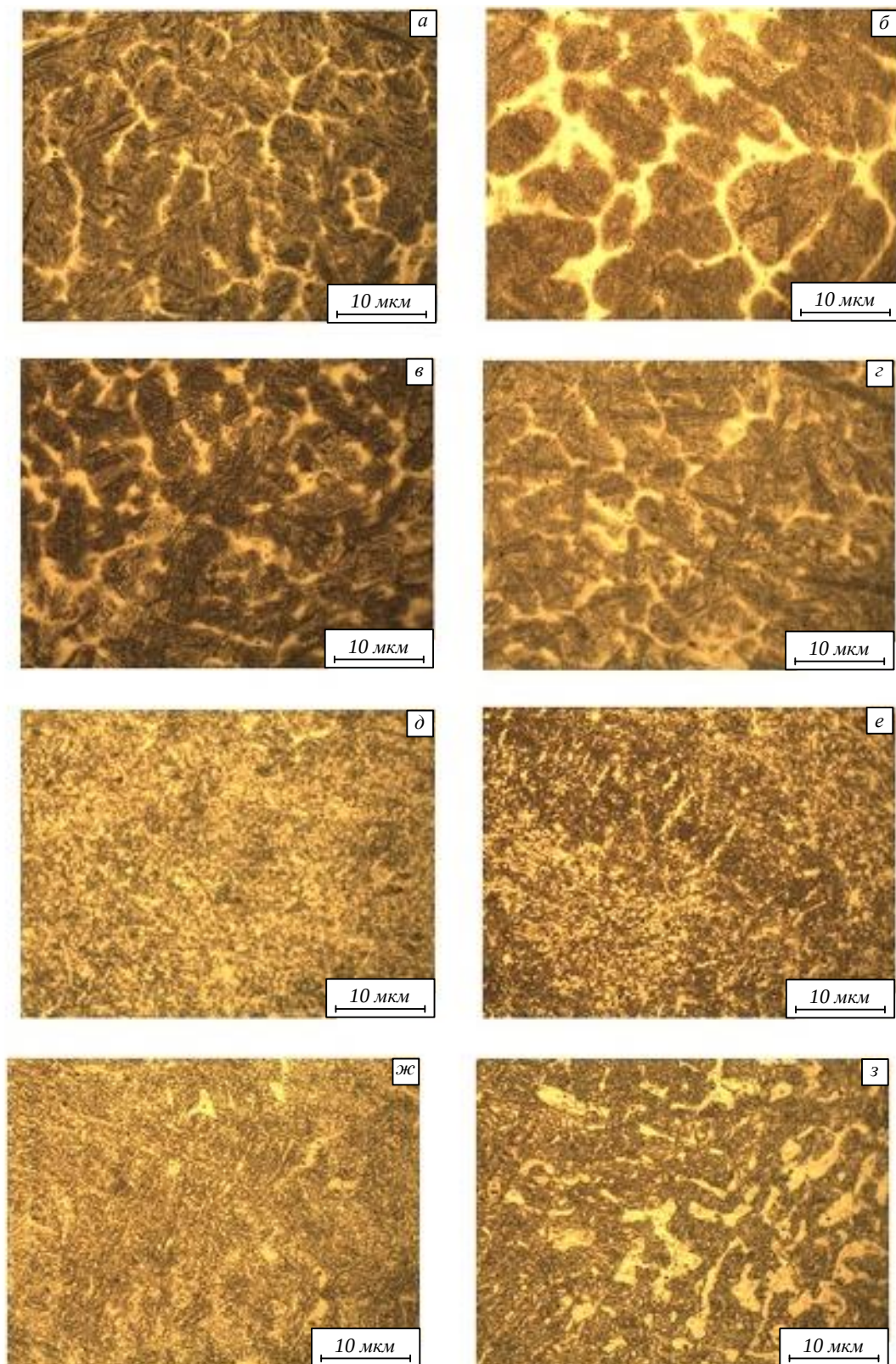


Рис. 1. Микроструктура исследуемых образцов:
a – № 1Г9; *б* – № 2Г10; *в* – № 3Г11; *г* – № 4Г12; *д* – № 5Г13; *е* – № 6Г14; *жс* – № 7Г15; *з* – № 8Г16

микроструктуру наплавленного слоя. Использование хрома обеспечивает получение мартенситной структуры наплавленного металла с тонкими прослойками δ -феррита, расположенными по границам первичных зерен аустени-

та. Выведение из состава шихты порошковой проволоки хрома и введение вольфрама способствует формированию феррито-перлитной структуры наплавленного слоя карбидными включениями вольфрама. Использование хро-

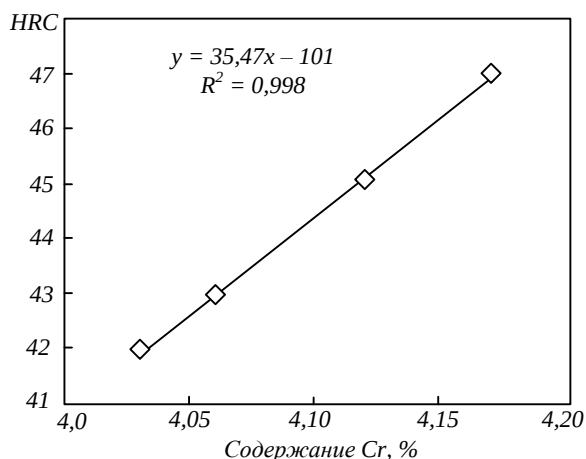


Рис. 2. Твердость образцов №№ 1Г9 – 4Г12

ма обеспечивает уменьшение бывшего зерна аустенита. Размер первичного зерна аустенита при использовании хрома соответствует № 7, 6 и № 6, 7, а при выведении хрома и введении вольфрама – № 6 и № 5, 6. Введение хрома в состав шихты порошковой проволоки обеспечивает получение более высоких значений твердости (30 – 46 HRC) наплавленного слоя, чем без хрома и при использовании вольфрама (21 – 25 HRC). Повышение твердости в результате введения хрома обусловлено формированием мартенситной структуры с меньшей величиной бывшего зерна аустенита (№ 7, 6 и № 6, 7) по сравнению со структурой феррита и перлита с величиной первичного зерна аустенита, соответствующей № 6 и № 5, 6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kirchgaßner M., Badisch E., Franek F. Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact // *Wear Journal*. 2008. Vol. 265. P. 772 – 779.
2. Azzoni M. Directions and developments in the types of hard phases to be applied in abrase deposits against abrasion // *Weld. International*. 2009. Vol. 23. P. 706 – 716.
3. Klimpel A., Dobrzanski L.A., Janicki D., Lisiecki A. Abrasion resistance of GMA metal cored wires surfaced deposits // *Materials Processing Technology*. 2005. Vol. 164 – 165. P. 1056 – 1061.
4. Wang Q., Li X. Effects of Nb, V, and W on microstructure and abrasion resistance of Fe–Cr–C hardfacing alloys // *Weld. International*. 2010. Vol. 89. P. 133 – 139.
5. Metlitskii V.A. Flux-cored wires for arc welding and surfacing of cast iron // *Weld. International*. 2008. Vol. 22. P. 796 – 800.
6. Kejžar R., Grum J. Hardfacing of Wear-Resistant Deposits by MAG Welding with

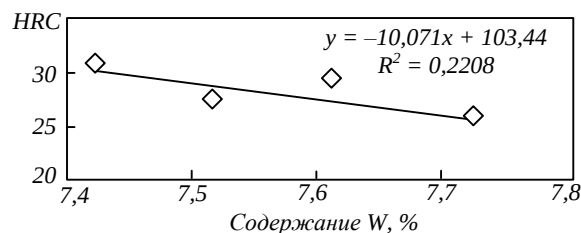


Рис. 3. Твердость образцов №№ 5Г13 – 8Г16

a Flux-Cored Wire Having Graphite in Its Filling // *Welding International*. 2005. Vol. 20. P. 961 – 976.

7. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Металлургия, 1974. – 768 с.
8. Гусев А.И., Осетковский И.В. Изучение свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы С – Mn – Si – Cr – V – Mo – Co // *Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Сб. тр. VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи. В 2-х томах. Т. 1. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2016. С. 91 – 94.*
9. Gusev A.I., Kibko N.V., Kozyrev N.A., Popova M.V., Osetkovsky I.V. A study on the properties of the deposited metal by flux cored wires 40GMFR and 40H3G2MF // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 150. 2016. P. 1 – 9.
10. Гусев А.И., Кибко Н.В., Попова М.В., Козырев Н.А., Осетковский И.В. Структура и свойства наплавленных слоев, полученных с применением порошковых проволок 40ГМФР и 40ХЗГ2МФ // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии*. 2016. Вып. 36. С. 174 – 181.
11. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Альянс, 2013 – 528 с.
12. Шагарава О.Н. Характеристика структуры металлической матрицы и износостойкость поверхностей при микроударном воздействии // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Горная книга*. 2006. № 4. С. 230 – 235.

© 2017 г. А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский
Поступила 20 марта 2017 г.

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

УДК 622.273.212+622.28

А.В. Ремизов, С.В. Риб

Сибирский государственный индустриальный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕСЦЕЛИКОВЫХ СПОСОБОВ ОХРАНЫ ПОВТОРНО ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Подготовительные выработки обеспечивают подготовку отдельных частей шахтного поля и отработку выемочных столбов. Для размещения значительного количества оборудования, возможности бесперебойной работы транспорта и пропуска большого количества воздуха необходимо, чтобы сечение подготовительных выработок удовлетворяло требованиям Правил безопасности. Вместе с тем для сохранения площади поперечного сечения, допустимых зазоров между стенками выработки и транспортными средствами во время эксплуатации требуется применение надежных способов охраны. На шахтах Кузнецкого бассейна для охраны примыкающих к лаве выемочных выработок применяют целики угля; как правило, их оставляют на сопряжении лавы с выработкой. Бесцеликовая технология подготовки и отработки выемочных столбов составляет около 30 % [1].

Все факторы, предопределяющие устойчивость пластовых выработок в процессе их эксплуатации, по размерам зон их влияния можно разделить на две большие группы: региональные и локальные. К региональным факторам относятся глубина, литологический состав и прочностные свойства массива пород и пикативных нарушений в зоне расположения выработки [2], влияние оставленных на смежных пластах угольных целиков [3] и т.д. К факторам локального действия относят неравномерности физико-механических свойств массива, наличие разрывных нарушений и зон утолщения угольных пластов [4], качество проведения и крепления выработки [5]. С усложнением технологии ведения горных работ, а также условий проведения пластовых выработок многообразие локальных факторов увеличивается. Такое многообразие негативно для устойчивости выработок [6].

При решении вопросов охраны выработок на основании данных о смещении пород, их контуров важным является определение рациональной ширины целика между транспортной магистралью и выемочным столбом. Авторы

работы [7] пришли к выводу, что ширина целика должна составлять 70 м. Естественно, что увеличение размеров целиков улучшает условия поддержания выработок. Однако увеличение размеров охранных целиков ведет к росту потерь уже подготовленных к выемке запасов полезного ископаемого и уменьшению срока службы шахты. Недостаточно широкие угольные целики обуславливают интенсивное разрушение кровли и почвы в выемочных выработках, что требует выполнения трудоемких, дорогостоящих и небезопасных работ по ремонту выработок. Угольные целики приводят к образованию многочисленных зон повышенного горного давления на смежных пластах, в которых резко возрастает вероятность деформаций породного контура и динамических проявлений горного давления в виде завалов, горных ударов и выбросов угля и газа. Кроме того, в некоторых случаях именно оставление целиков угля приводит к самонагреванию и последующему самовозгоранию угля.

На шахтах российского Донбасса, где средняя глубина разработки составляет 610 м, а максимальная – 1200 м, более 70 % выемочных штреков работает в условиях пологих угольных пластов мощностью 0,85 – 2,00 м с вмещающими породами прочностью 50 – 130 МПа. На этих шахтах наибольшее распространение получила технология анкерного крепления и бесцеликовой охраны выемочных штреков с сохранением их для повторного использования с помощью органной крепи и деревянно-бетонных блоков [8]. Эти блоки предназначены для возведения охранных конструкций (тумб) при бесцеликовых способах охраны выемочных выработок, сохраняемых для повторного использования, на пластах мощностью 0,85 – 2,00 м с углами падения до 25° при наличии средне- и труднообрушаемой основной кровли и сопротивлении почвы вдавливаю не менее 9,6 МПа [9].

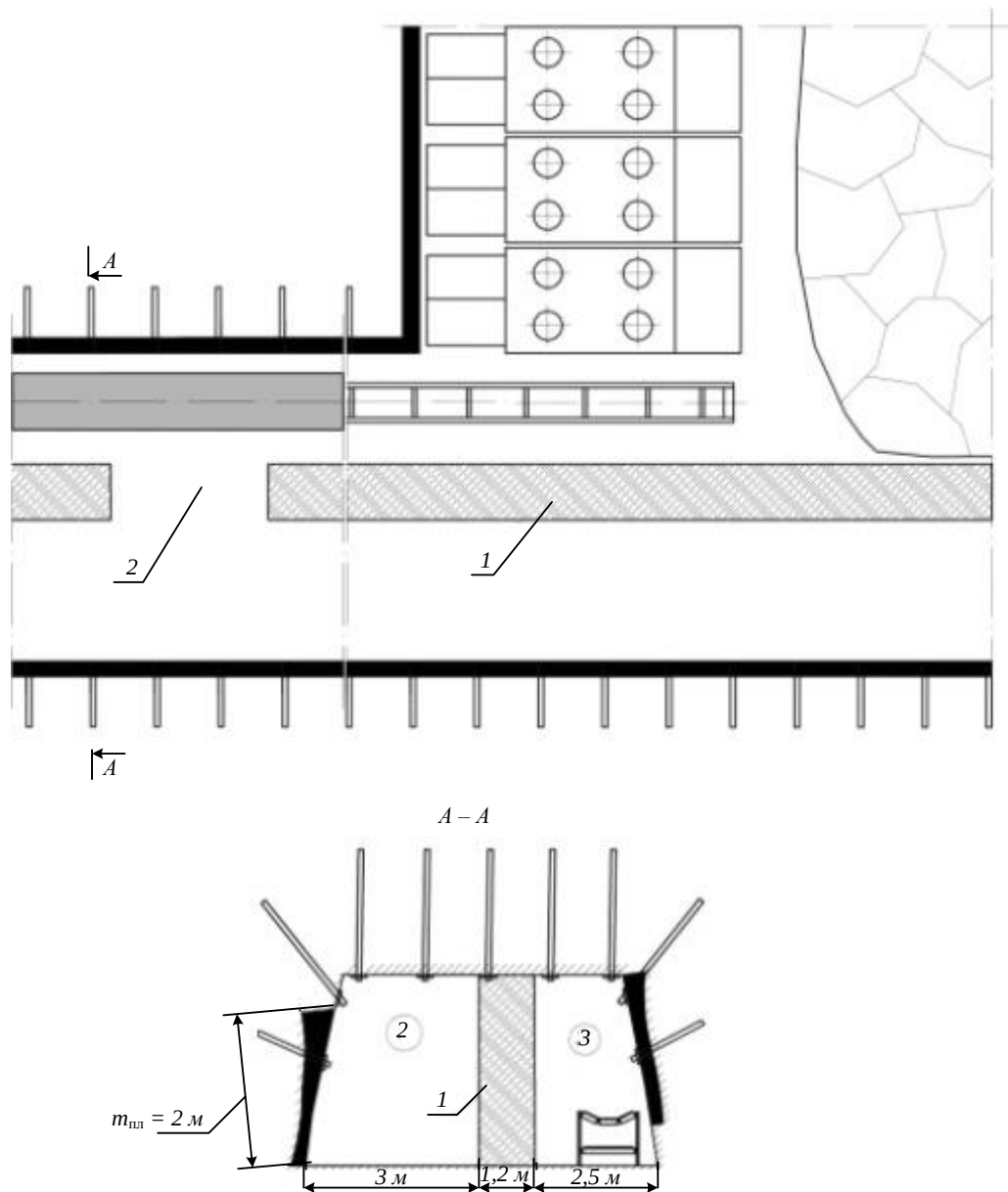
Вышеперечисленные способы и средства охраны выработок имеют ограниченную область применения из-за высокой стоимости,

трудоемкости работ или недостаточной их эффективности. К современным способам следует отнести сплошные полосы из бетона с наполнителями из шлака или рядовой породы. Использование литых полос из быстротвердеющих материалов в большинстве случаев позволяет улучшить состояние подготовительных выработок и обеспечить возможность их повторного использования без ремонтно-восстановительных работ. Имеющиеся возможности механизации и автоматизации работ, связанных с возведением литых полос, их безопасность и невысокая трудоемкость объективно определяют перспективность этого способа охраны при отработке пологих пластов мощностью до 2,0 м.

Для решения вопроса поддержания подготовительных выработок и возможности бесце-

ликовой отработки угольных пластов предлагается способ охраны, который при разработке пластов длинными столбами включает размещение жесткой литой полосы в транспортной выработке (см. рисунок).

Сущность этого способа заключается в том, что возведение охранной конструкции выполняется до начала ведения очистных работ. Литая полоса из быстротвердеющих материалов возводится вслед за подвиганием подготовительного забоя. Эксплуатация выработки заключается в следующем: со стороны массива угля по выработке доставляется оборудование, вспомогательные материалы для лавы, а со стороны выемочного столба по конвейеру транспортируется уголь.



Предлагаемая схема охраны подготовительной выработки

Предлагаемый способ предназначен для сохранения эксплуатационных размеров поперечного сечения подготовительной выработки со стороны нетронутого массива угля и дальнейшего использования выработки в качестве вентиляционной.

Отличительная особенность способа заключается в том, что охранная конструкция, возведенная по всей протяженности подготовительной выработки до начала ведения очистных работ, обретаеет необходимую несущую способность и жестко вступает во взаимодействие с боковыми породами в зоне влияния очистных работ.

Схема охраны включает (см. рисунок) жесткую литую полосу 1, которая разделяет подготовительную выработку на две части: погашаемую 2 и охраняемую 3. Через каждые 200 – 300 м в литой полосе оставляют проемы 4 для прохода людей, доставки вспомогательных материалов и поступления свежей струи воздуха в очистной забой. Вслед за лавой проемы заполняют быстротвердеющей смесью. Рабочая характеристика такой схемы охраны подготовительной выработки значительно лучше известных искусственных сооружений, так как она имеет более высокое сопротивление с боковыми породами. Однако выбор рационального способа охраны и поддержания подготовительных выработок, технических и технологических параметров охранных конструкций и сооружений должен проводиться только с учетом реальных геологических, горнотехнических и производственных условий ведения горных работ.

Выводы. Анализ современных средств охраны выемочных выработок показал, что использование целиков угля на больших глубинах предусматривает дополнительные исследования. Выбор искусственных охранных конструкций требует учета их достоинств и недостатков, а также комплекса горно-геологических и горнотехнических факторов в конкретных условиях, что предполагает проведение комплекса шахтных и аналитических исследований, в том числе технико-экономическую оценку рассматриваемых вариантов крепления и охраны подготовительных выработок. В связи с изменяющимися условиями рыночных отношений и повышением требований к безопасности ведения горных работ бесцеликовая охрана является одним из перспективных способов при разработке угольных пластов. Также необходимо совершенствовать технологии по охране подготовительных вы-

работок целиками угля с последующим их извлечением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыжков Ю.А., Игнатов Е.В. Сравнительная оценка горно-геологических условий разработки, техники и технологии при подземном способе добычи угля в России и за рубежом // Вестник КузГТУ. 2006. № 1. С. 67 – 74.
2. Зборщик М.П., Син А.Ф., Пилюгин В.И. Геомеханические основы ведения горных работ в условиях пикативно нарушенных пологих пластов. – Донецк: изд. ДонНТУ, 2005. – 282 с.
3. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222 с.
4. Кольчик Е.И., Кольчик И.Е., Пилюгин В.И. Влияние тектонической нарушенности на условия проведения и поддержания пластовых выработок. – Донецк: изд. ДонНТУ, 2007. – 184 с.
5. Стулишенко А.Ю. Прогнозирование сближений пород контура проводимых вслед за лавой подготовительных выработок на пологих пластах: автореф. дис. на соискание науч. степени. канд. техн. наук. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 20 с.
6. Пилюгин В.И., Гавриш Н.Н., Мирошников А.И. Влияние полостей природного и техногенного происхождения на устойчивость пластовых подготовительных выработок. – В кн.: Сборник научных статей. – Донецк: изд. ДонНТУ, 2007. С. 148 – 152.
7. Волошин А.И., Рябцев О.В., Коваль И. Определение рациональной ширины целика между транспортной магистралью и отработываемой лавой // Уголь Украины. 2011. № 8. С. 11 – 13.
8. Рутьков К.И., Беликов В.В., Беликова Н.В. Охрана повторно используемых подготовительных выработок тумбами из деревянно-бетонных блоков // Уголь. 2000. № 10. С. 59 – 61.
9. Овчаренко Г.В., Васильев С.В., Чолак Э.О. Шахтные испытания технологии выемки тонких крутых пластов с помощью пневмокрепи «Нева» // Уголь. 1989. № 9. С. 31, 32.

© 2017 г. А.В. Ремизов, С.В. Риб
Поступила 06 мая 2017 г.

Л.Т. Дворников, Д.А. Береснев

Сибирский государственный индустриальный университет

ЗАДАЧА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ЦЕПЕЙ М. ГРЮБЛЕРА С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ

Одним из широко известных в теории механизмов методов структурного синтеза кинематических цепей является метод М. Грюблера, разработанный и опубликованный в 1883 г. [1]. Русский перевод работы Грюблера [2, 3] был осуществлен в 2011 г. В практике конструирования машин этот метод применяется уже более ста лет, однако заложенные Грюблером в его методе идеи еще не до конца изучены и использованы.

В настоящей работе сделана попытка системного подхода к проблеме построения цепей Грюблера с поступательными кинематическими парами.

В основу метода синтеза структур плоских стержневых шарнирных механизмов Грюблером положена известная к тому времени формула подвижности кинематических цепей, выведенная российским ученым П.Л. Чебышевым в 1869 г. В современных обозначениях эта формула имеет вид

$$W = 3n - 2p, \quad (1)$$

где W – подвижность кинематической цепи; n и p – число подвижных звеньев и соединяющих их шарниров в цепи.

Особенность подхода Грюблера заключается в том, что изучаемым кинематическим цепям задается подвижность $W = 4$, то есть рассматриваются свободные в плоскости замкнутые цепи, удовлетворяющие условию

$$3n_r - 2p = 4, \quad (2)$$

где n_r – число звеньев цепи Грюблера; $n_r = n + 1$; сама цепь может свободно двигаться в трех направлениях в плоскости и в одном дополнительном направлении внутри цепи.

Так, приведенная на рис. 1, свободная в плоскости четырехзвенная цепь может двигаться поступательно вдоль осей z и y , а также вращаться относительно оси x . Помимо этого, если хотя бы одно из звеньев рассматриваемой

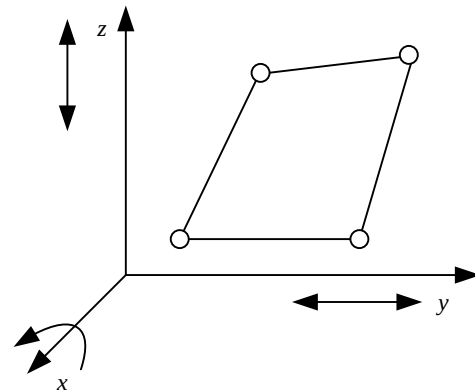


Рис. 1. Четырехзвенная цепь Грюблера

цепи остановить, то остальные звенья смогут двигаться относительно между собой, то есть цепь Грюблера обладает четырьмя независимыми направлениями движения. Если далее в этой цепи остановить одно (любое) из звеньев, то полученная цепь окажется механизмом, обладающим подвижностью, равной единице.

Более сложная цепь Грюблера (шестизвенная) может быть собрана в двух формах (рис. 2).

Последовательно останавливая в этих цепях звенья, можно построить все отличающиеся схемы шестизвенных механизмов, всего их пять (рис. 3): две цепи формы (а) и три цепи формы (б). Значительно большее количество схем механизмов можно построить из восьми- или десятизвенных цепей Грюблера.

В исследовании [1] М. Грюблер рассматривал исключительно цепи с вращательными кинематическими парами, то есть такими, в которых между соседними звеньями возможно единственное относительное направление движения, а именно, вращение в плоскости. Также единственное относительное направление движения между звеньями обеспечивают поступательные пары. На этом основании в любой цепи Грюблера возможна замена вращательных пар на поступательные. Рассмотрим это на примере шестизвенной цепи. Это представляется важным, так как из таких цепей могут быть построены механизмы, отличающиеся от обычных шарнирных.

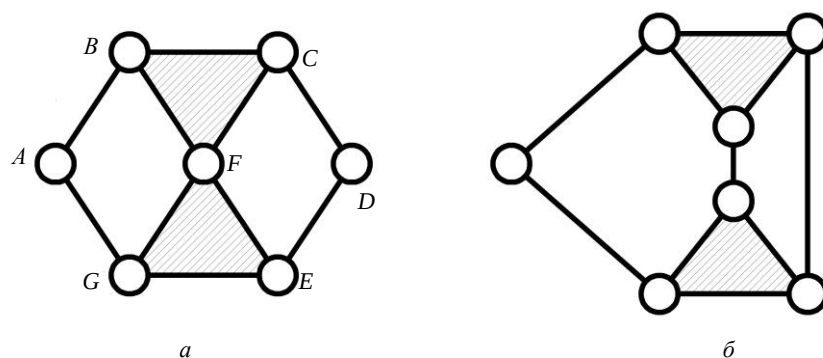


Рис. 2. Шестизвенные цепи Грюблера первой (а) и второй (б) форм

Общий принцип замены вращательных пар на поступательные рассмотрим прежде на примере простейшей цепи Грюблера – четырехзвенной. Все возможные схемы таких цепей показаны на рис. 4: одна с одной поступательной парой (рис. 4, а), две с двумя поступательными парами (рис. 4, б, в). Ввести в четырехзвенную цепь третью поступательную пару нельзя, потому что все эти три пары окажутся расположенными подряд друг за другом (рис. 4, г), цепь выродится в трехзвенную, так как вращательное движение в оставшемся шарнире станет невозможным при совместном поступательном движении всех четырех звеньев. При замене четырех шарниров на поступательные пары (рис. 4, д) цепь окажется двухподвижной.

Важно отметить, что в работе [4] были показаны три условия, приводящие к вырождению механизмов при включении в них поступательных пар:

– ни одно из звеньев цепи не должно иметь две параллельные поступательные пары, так как в этом случае звено получит свое локальное относительное движение;

– два звена цепи, имеющие только поступательные пары, не должны находиться рядом;

– ни один замкнутый контур цепи не должен содержать менее двух шарниров (именно этот случай приведен на рис. 4, г).

Построим шестизвенные цепи с поступательными парами, используя шарнирную цепь Грюблера по форме а (рис. 2, а). Отметим, что эта цепь является симметричной относительно двух осей: проходящей через шарниры AFD и перпендикулярной ей, проходящей через пару F . Если установить поступательную пару на место шарнира A , то цепь с поступательной парой в шарнире D окажется точно такой же.

Вполне очевидно, что единственная поступательная пара, введенная в рассматриваемую шестизвенную цепь Грюблера, приведет к получению отличающихся цепей лишь в трех случаях, показанных в первой строке рис. 5 (где ЦГ – цепь Грюблера; 6 – шестизвенная; П – поступательные пары; i – число поступательных пар; j – номер цепи при заданном i). Все остальные варианты будут повторять реализованные.

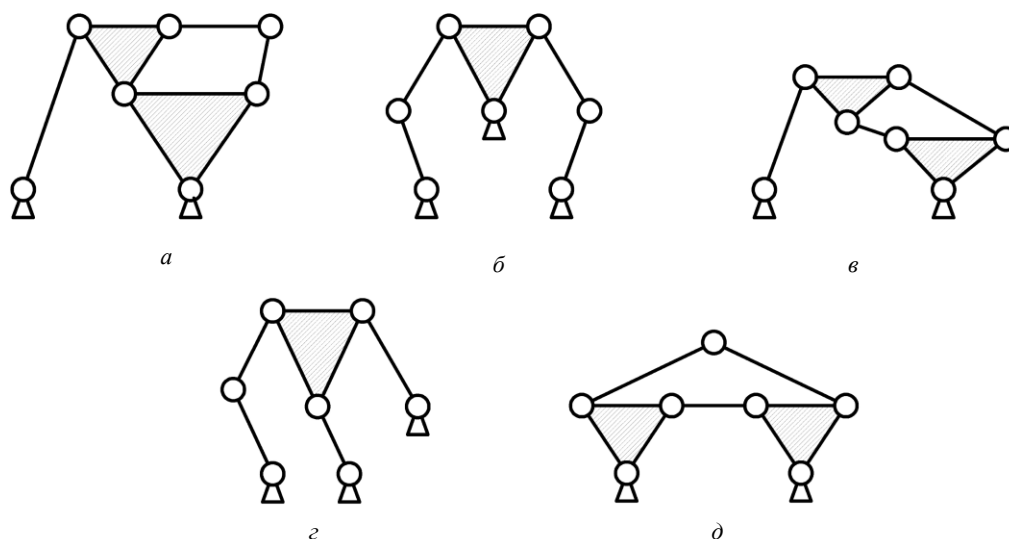


Рис. 3. Схемы шестизвенных механизмов

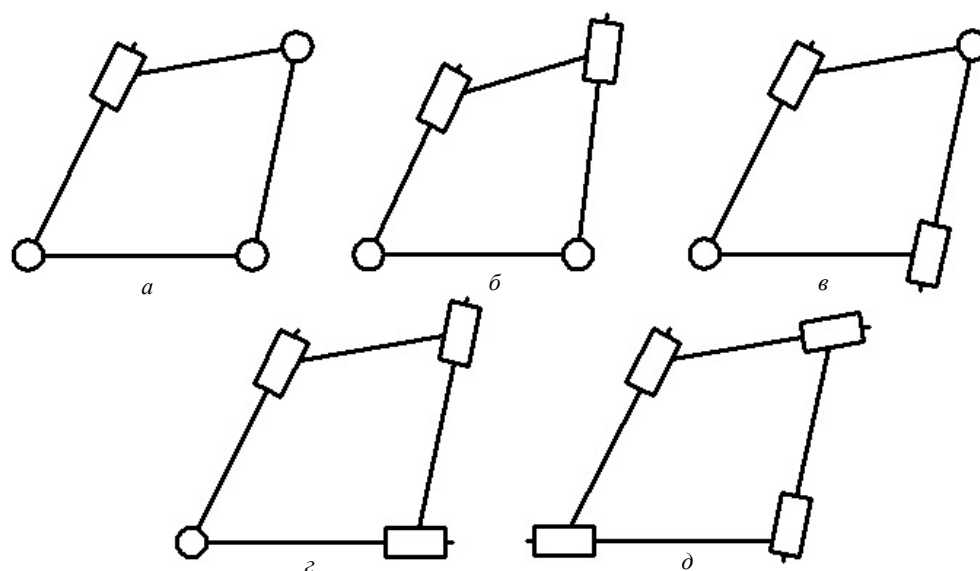


Рис. 4. Возможные виды четырехзвенной цепи Грюблера с поступательными парами

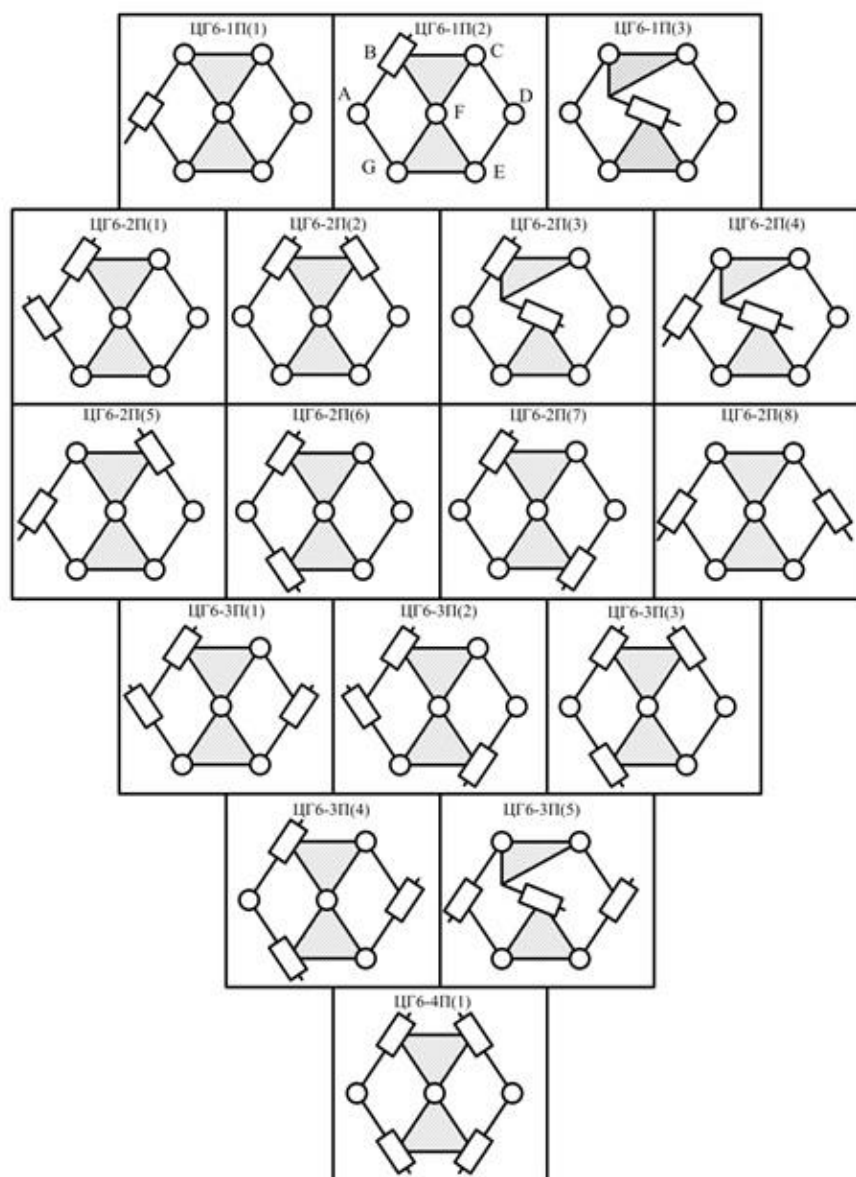


Рис. 5. Полный состав шестизвенных цепей Грюблера с поступательными кинематическими парами

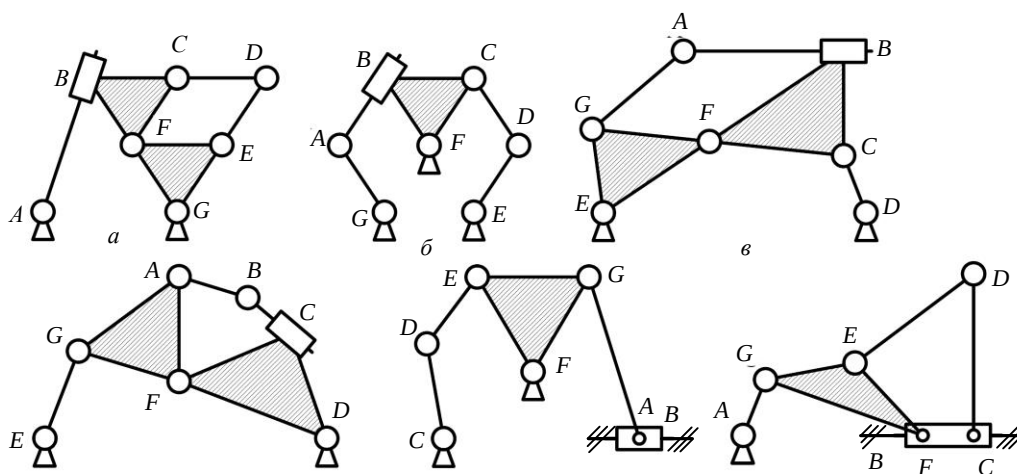


Рис. 6. Схема шестизвенных механизмов

Существует восемь разных способов расположить две поступательные пары в шестизвенной цепи таким образом, чтобы они удовлетворяли всем трем выше приведенным условиям; три поступательные пары можно вводить вместо шарниров лишь так, чтобы они не были расположены подряд. Таких цепей можно отличить лишь пять. А четыре поступательные пары можно установить в цепи единственным вариантом. Таким образом, всего отличающихся шестизвенных цепей Грюблера по форме 2, а с поступательными парами можно построить 17 и по каждой из них, останавливая звенья по одному, создать отличающиеся механизмы. Уже по второй цепи (рис. 5) можно обосновать шесть отличающихся механизмов, которые показаны на рис. 6.

Выводы. Применение изложенного метода для всех шестизвенных и восьмизвенных цепей Грюблера позволит найти полное многообразие плоских механизмов с вращательными и с поступательными кинематическими парами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Grubler M. Allgemeine eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen ketten // Civiling. 1883. № 29. P. 167 – 200.
2. Дворников Л.Т., Жуковский Н.С. Адаптированный перевод с немецкого языка статьи: М. Grubler. Allgemeine eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen ketten. – Лейпциг. 1883. Ч. 1 // Теория механизмов и машин. 2011. № 1 (17). Т. 9. С. 44 – 61.
3. Дворников Л.Т., Жуковский Н.С. Адаптированный перевод с немецкого языка статьи: М. Grubler. Allgemeine eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen ketten. – Лейпциг. 1883. Ч. 2 // Теория механизмов и машин. 2011. № 2 (18). Т. 9. С. 3 – 17.
4. Озол О.Г. Основы конструирования и расчета механизмов / Сост. У.Я. Дзинтарс. – Рига: Звайгзие, 1979. – 360 с.

© 2017 г. Л.Т. Дворников, Д.А. Береснев
Поступила 12 апреля 2017 г.

А.Н. Савельев, Н.А. Локтева, В.С. Королев

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОКАТНЫХ КЛЕТЕЙ, СВЯЗАННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ ЧЕРЕЗ ПРОКАТЫВАЕМУЮ ПОЛОСУ

Динамические процессы в непрерывных прокатных станах, как правило, определяются характером технологических нагрузок в переходных зонах прокатки. В дальнейшем эти процессы распространяются на значительную часть стабильных участков технологического процесса, создавая тем самым дополнительные нагрузки на элементы привода машин [1, 2]. Поведение полосы в момент заполнения металлом очага деформации прокатного стана определяется соотношением скоростей полосы и прокатываемых валков [3], формой переднего конца полосы [4], влиянием соседних клетей [5]. В настоящей работе с учетом особенностей работы черновой группы прокатных клетей непрерывно-заготовочного стана (НЗС) разработаны динамическая и математическая модели поведения группы клетей.

Цель настоящей работы – оценка на основе разработанной модели силовых составляющих в элементах клетки при нормальном режиме ее работы.

Основой формирования математической модели выступает динамическая модель прокатной системы, которая является результатом реализации метода, описанного в работе [6], и представляет собой минимально-допустимый набор взаимосвязанных сосредоточенных масс

и жесткостей (рис. 1). Модель включает три клетки, динамические процессы которых влияют друг на друга через взаимосвязывающую их полосу. Степень взаимовлияния клетей экспериментально исследована в работе [5] и учтена в процессе формирования математической модели.

Основу математической модели составляет система дифференциальных уравнений, описывающая движения каждой из масс динамической модели:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_1}{dt} &= \dot{\varphi}_1; & \frac{d\dot{\varphi}_1}{dt} &= \frac{M_1}{I_1}; \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= \dot{\varphi}_2; & \frac{d\dot{\varphi}_2}{dt} &= \frac{M_2}{I_2}; \\ &\dots & \dots & \\ \frac{d\varphi_n}{dt} &= \dot{\varphi}_n; & \frac{d\dot{\varphi}_n}{dt} &= \frac{M_n}{I_n}, \end{aligned}$$

где φ , $\dot{\varphi}$ и $\ddot{\varphi}$ – угол поворота, угловая скорость и ускорение i -ой массы системы; M_i – суммарный момент внешних и внутренних сил, действующих на i -ую массу; I_i – момент инерции i -ой массы.

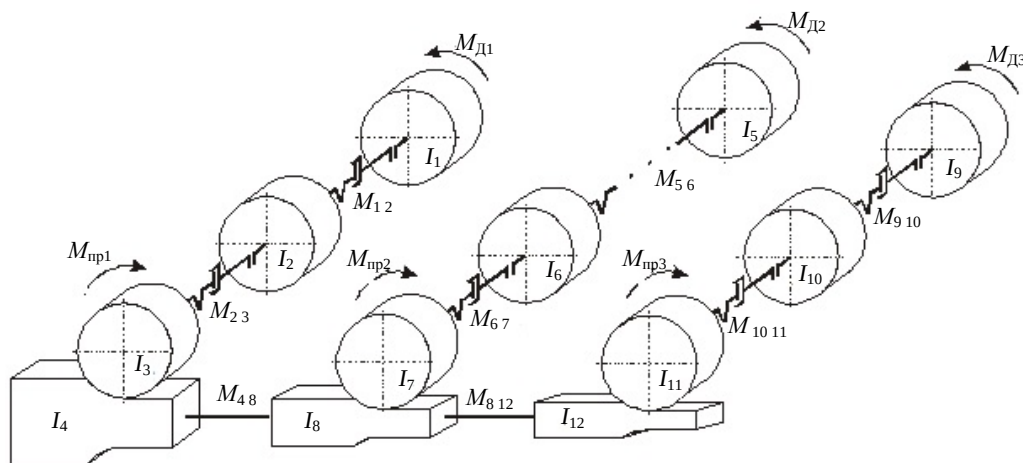


Рис. 1. Динамическая модель прокатной системы

Для решения уравнений математической модели разработаны программы расчета силовых и кинематических параметров процесса движения масс технологического оборудования во время обжатия металла валками в каждой из трех клетей непрерывно-заготовочного стана. Интегрирование дифференциальных уравнений в расчете осуществлено по методу Рунге-Кутты; в данном случае для расчета использовали прикладные программы из библиотеки. Силовые составляющие дифференциальных уравнений включают моменты в упругих связях, моменты прокатки и моменты от электродвигателей клетей.

В динамической модели массы соединены между собой упругими связями с зазорами Δ_{ij} и демпферами, коэффициент демпфирования g . Реакция связи между массами модели определяется по формуле

$$M_{ij} = g(\dot{\varphi}_j - \dot{\varphi}_i) + m_{ij};$$

здесь

$$m_{ij} = \begin{cases} c_{ij}(\varphi_j - \varphi_i + \Delta_{ij}) & \text{при } (\varphi_j - \varphi_i) < -\Delta_{ij}; \\ 0 & \text{при } -\Delta_{ij} < (\varphi_j - \varphi_i) < 0; \\ c_{ij}(\varphi_j - \varphi_i) & \text{при } (\varphi_j - \varphi_i) > 0, \end{cases}$$

g – коэффициент эквивалентного вязкого демпфирования в упругих связях; φ_i и $\dot{\varphi}_i$ – перемещение и скорость поворота i -ой массы системы; c_{ij} – жесткость упругой связи; Δ_{ij} – зазор в упругой связи.

Усилие в связи между участками прокатываемого металла M_{48} M_{812} описывается этим же уравнением с соответствующими нагретому металлу параметрами, где зазор в связях отсутствует. Моменты двигателей прокатных клетей постоянного тока определяются в модели по следующей формуле:

$$M_{дв} = C_m \left(u - C_e \frac{30}{\pi \dot{\varphi}_q} \right) / R_s,$$

где C_m , C_e – постоянные машины; u – напряжение на якоре двигателя; R_s – сопротивление якоря двигателя.

Момент прокатки зависит от соотношения скоростей металла и валков в зоне их контакта. Если скольжение валков по металлу отсутствует, то момент прокатки находится по зависимости

$$M_{пр} = M_0 = 2l_p \psi_\phi \sqrt{\Delta h R B}, \quad (1)$$

где l_ϕ – длина очага деформации; p_ϕ – удельное давление металла на валки; ψ_ϕ – коэффициент приложения равнодействующей усилия прокатки; B – ширина полосы.

Если наблюдается проскальзывание валков по раскату, то это учитывается при расчете момента прокатки следующим образом:

$$M_{пр} = 2l_\phi p_\phi \mu_\phi B R, \quad (2)$$

где μ_ϕ – коэффициент трения валков по металлу.

В процессе расчета моментов прокатки необходимо знать зависимости, по которым изменяются давление p_ϕ , коэффициент плеча приложения равнодействующей усилия прокатки ψ_ϕ , длина контакта металла с валками l_ϕ и коэффициент трения μ_ϕ . Характер нарастания момента на неустановившейся стадии прокатки тесно связан с закономерностью изменения коэффициента плеча приложения равнодействующей усилия прокатки. В процессе захвата металла валками коэффициент ψ_ϕ изменяется от величины $R \cos \alpha_3 / \sqrt{\Delta h R}$ до его значения в стационарной стадии прокатки. Характер изменения этого коэффициента нелинейный. В работах [9, 10] при анализе нарастания момента и усилия в неустановившейся стадии прокатки сделан вывод, что коэффициент должен отображаться монотонно убывающей функцией с резким уменьшением в первый момент заполнения очага деформации и с плавным насыщением при переходе к стационарной стадии. Рассмотренные в работах [9, 10] данные по изменению коэффициента ψ_ϕ при захвате металла валками получены только для прямоугольной полосы. В реальной ситуации металл, задаваемый в валки клетей НЗС, имеет форму, напоминающую клин. Для учета особенностей формы переднего конца полосы, поступающей на НЗС и передаваемой из клетки в клеть, в настоящей работе используется понятие клиновидности переднего конца полосы [1], которая описывается с помощью коэффициентов клиновидности переднего конца полосы (рис. 2). Коэффициент изменения плеча равнодействующей для клинообразного конца полосы (так же, как и для прямоугольного) изменяется от значения $R \cos \alpha_3 / \sqrt{\Delta h R}$ до его значения в стационарной стадии. Поэтому, приняв за основу формулу из работы [8] и введя в нее коэффициенты, учитывающие форму переднего конца полосы, получена зависимость следующего вида:

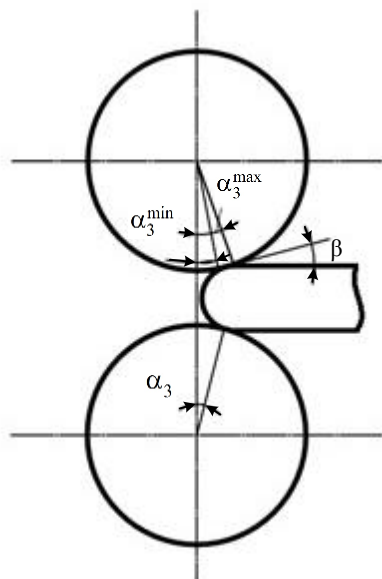


Рис. 2. Углы контакта клиновидного конца полосы с валками прокатной клетки:

α_3 – начальный угол контакта металла с валками; $\alpha_3^{\min}$ и $\alpha_3^{\max}$ – минимальный и максимальный угол контакта полосы с валками; β – угол клиновидности переднего конца полосы

$$\psi_\varphi = K_4 - (K_4 - \psi_{\text{cr}})(1 - \exp \left[(-10^{-3} \varphi R [1,5 + 4(K_5 - K_2)] / \alpha_3^{\max}) \right])$$

где $K_4 = \alpha_3 / \alpha_3^{\max}$; $K_5 = (\alpha_3^{\max} - \alpha_3^{\min}) / \alpha_3$; $K_2 = \sin \beta$; $\psi_{\text{cr}} = 0,790 - 0,887 l / H_{\text{cp}} + 0,444 (l / H_{\text{cp}})^2$.

При захвате металла валками усилие прокатки возрастает как за счет увеличения площади контакта металла с валками, так и за счет изменения давления, которое меняется в пределах зоны неустановившегося давления $l_{\text{нд}}$. Для определения давления, как показал выполненный в работе [7] сравнительный анализ существующих зависимостей, лучше всего подходит формула $l_{\text{нд}} = l + 0,32H_0$, где H_0 – начальная высота раската. В момент захвата на участке зоны неустановившегося процесса проката давление изменяется от нуля до значения, соответствующего установившемуся процессу прокатки. Характер изменения давления имеет нелинейную форму и с учетом формы переднего конца полосы хорошо описывается экспоненциальной зависимостью [8]

$$p_\varphi = p_0 [1 - \exp(-2,1 \varphi R / (K_3 l + 0,32 H_0))],$$

где $K_3 = (\alpha_3 - \alpha_3^{\min}) / 2$; φR – координата перемещения полосы, выраженная через угол по-

ворота валков (углы контакта металла при захвате его валками показаны на рис. 2).

В процессе захвата металла валками коэффициент трения зависит от скорости относительного скольжения контактирующих поверхностей. В большинстве работ [11 – 14] определяется влияние на коэффициент трения не скорости относительного скольжения, а скорости вращения валков. Тем не менее в этих работах опыты поставлены таким образом, что скорость вращения валков или равняется скорости относительного скольжения, или легко определяется. По экспериментальным данным [9, 11 – 14] при усреднении результатов, полученных разными авторами, по минимуму получена зависимость

$$\mu_\varphi = \mu_0 e^{-0,00025(\varphi_1 - \varphi_0)R} - \left(\mu_0 \frac{\psi_\varphi - l_\varphi}{R} \right) \frac{2}{\pi} \times \arctg \left[\frac{(\varphi_1 - \varphi_0)R}{0,1} \right],$$

где μ_0 – коэффициент трения, соответствующий нулевому скольжению валков по металлу; $(\varphi_1 - \varphi_0)R$ – относительное скольжение валков по металлу.

При этом было учтено [13], что при приближении рассогласования скоростей к нулю коэффициент трения, а также и моменты на валках стремятся к значениям состояния, когда проскальзывания металла по валкам нет. Значения моментов в этом случае приближаются и, в конечном итоге, становятся равными моменту прокатки M_0 , определяемому по формуле (1). Из сравнения уравнений моментов (1) и (2) вытекает, что коэффициент трения в случае, когда скорость скольжения равна нулю, определяется как $\mu_0 = \psi_\varphi \sqrt{\Delta h R} / R$.

Форма переднего конца полосы влияет и на площадь контакта металла с валками. В зависимости от вида передней части полосы характер нарастания площадки контакта металла с валками по мере его перемещения в зону деформации, найденный графическим построением, описан математически следующей формулой:

$$l_\varphi = l_0 (1 - \exp - \varphi_0 / \alpha_3^{\max} [1,78 + 6(K_1 - K_2)]) ,$$

где $K_1 = (\alpha_3^{\max} - \alpha_3^{\min}) / (\alpha_3 + \alpha_3^{\min} / 2)$.

Таким образом, в результате экспериментально-теоретических изысканий получены все необходимые зависимости для определения

средних характеристик нагружения клеток НЗС при прокатке.

Пример расчета процесса прокатки в клетях НЗС показан на рис. 3. В качестве исходных

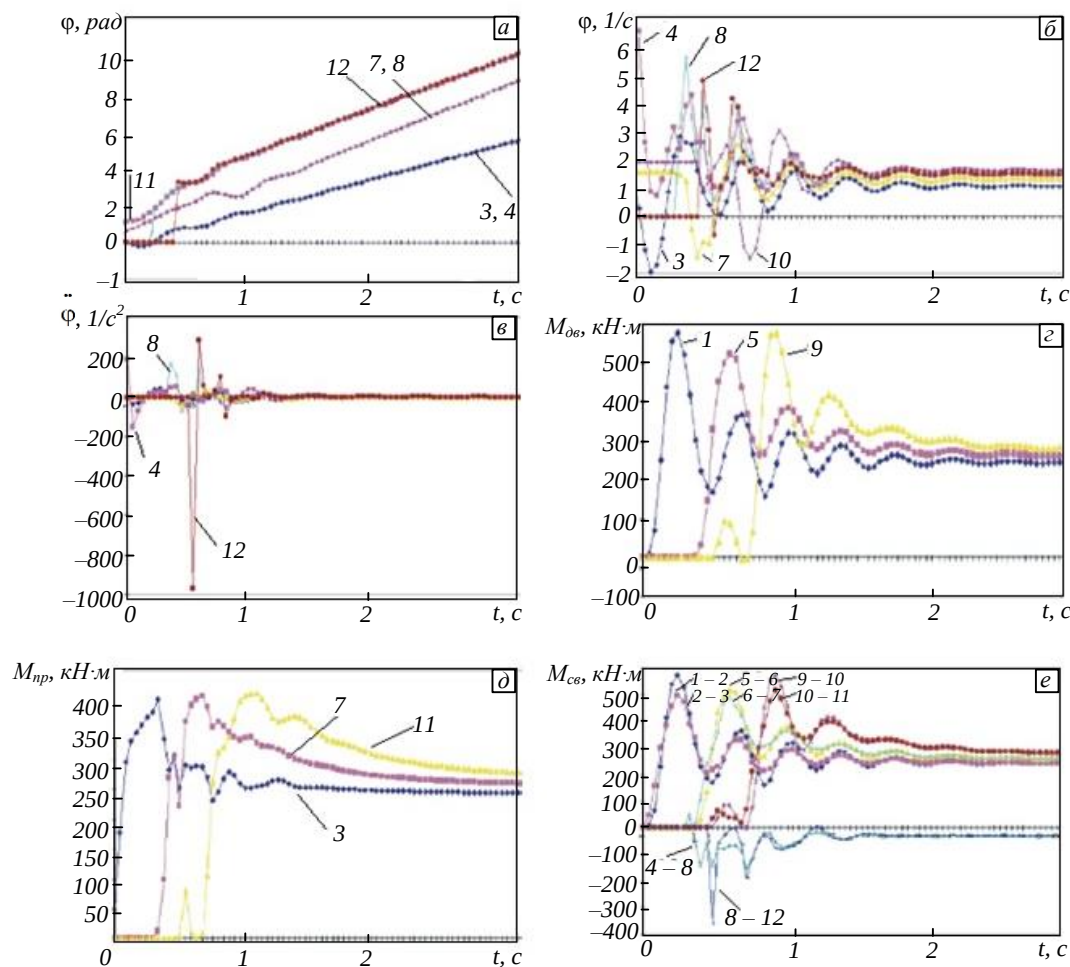


Рис. 3. Силовые, кинематические и динамические характеристики процесса прокатки в клетях В, 2, 3 непрерывно-заготовочного стана:

a – перемещение масс модели (массы обозначены на рис. 1); *б* – скорости масс; *в* – ускорения масс; *г* – моменты двигателей; *д* – моменты прокатки; *е* – моменты в связях

данных для расчета были приняты следующие значения: $I_1 = 3,2 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_2 = 2,0 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_3 = 2,8 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_4 = 0,33 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_5 = 3,2 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_6 = 2,1 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_7 = 2,7 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_8 = 0,36 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_9 = 3,5 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_{10} = 2,2 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_{11} = 3,1 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $I_{12} = 0,36 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; $C_{1-2} = 27500 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$; $C_{2-3} = 22000 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$; $C_{5-6} = 23000 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$; $C_{6-7} = 26000 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$; $C_{9-10} = 27000 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$; $C_{10-11} = 25000 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$; $C_{4-8} = 26000 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$; $C_{8-12} = 22000 \text{ кН} \cdot \text{м/рад}$.

Рассчитанные кинематические динамические и силовые характеристики процесса прокатки металла в трех двухвалковых клетях непрерывно-заготовочного стана 850 показаны на рис. 3. Поочередный процесс захвата металла валками каждой из клеток сопровождается интенсивным динамическим процессом, охватывающим все элементы привода. Динамические процессы возникают и в электродвигателе (рис. 3, г), и во всех элементах переда-

точного механизма стана (рис. 3, е), и во время обжатия металла валками (рис. 3, д). При этом динамические процессы в первой клетке накладываются на процессы захвата металла валками во второй клетке и остаются динамически активными при вхождении металла в зону деформации третьей клетки. В конечном итоге все три главных привода последовательно расположенных клеток оказывают взаимное влияние друг на друга, синхронизируя динамические нагрузки в элементах всех трех клеток (рис. 3, г, е). Нужно отметить, что в колебательных процессах в клетях, расположенных перед захватывающей металл клетью, амплитуда колебаний быстро уменьшается. Уменьшение происходит настолько быстро, что колебательные процессы в третьей клетке практически не влияют на динамические процессы в первых клетях. Минимальная частота крутильных колебаний в главных линиях клеток

соответствует частоте порядка 3 – 4 Гц и определяется параметрами трехклетевой системы в целом. Крутящие моменты, возникающие при этом в элементах системы, превышают статические нагрузки в 1,4 – 1,6 раза. Явных ударных нагрузок в зазорах приводов клеток в рассматриваемом примере моделирования динамических процессов не наблюдается.

Таким образом, в результате моделирования процесса работы трехклетевой системы непрерывного прокатного стана, связанной между собой прокатываемой полосой, разработан инструментарий, позволяющий исследовать влияние различных факторов прокатной системы на протекающие в ней динамические процессы. На примере показано, что при захвате металла каждой из клеток в их главных линиях возникают значительные по величине динамические процессы. Динамические колебания передаются через металл на соседние клетки со значительным уменьшением их амплитуды. Передача колебательного процесса через клетку на третью клетку практически незначима, что позволяет не принимать их в расчет при формировании непрерывных прокатных станов. Наибольшие крутящие моменты в приводе прокатных валков станов возникают в момент заполнения металлом зоны деформации между валками одной из клеток, по значению они могут превышать статические нагрузки до 1,6 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев А.Н., Воскресенский В.А. Динамика в главной линии при захвате клиновидного слитка // Изв. вуз. Черная металлургия. 1975. № 10. С. 92 – 95.
2. Савельев А.Н., Савельев А.Н. The study of dynamics of a moving strip in the steady state of rolling // Steel in the USSR. 1982. № 10. С.
3. Савельев А.Н., Воскресенский В.А., Перетягко В.Н. Исследование процесса захвата металла валками. – В кн.: Сб. трудов кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Омского политехнического института. – Омск: изд. ОПИ, 1975. С. 152 – 157.
4. Савельев А.Н., Воскресенский В.А., Перетягко В.Н., Широков В.Н. Исследование процесса захвата клиновидных слитков. – В кн.: Сб. трудов кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» Омского политехнического института. – Омск: изд. ОПИ, 1975. С. 158 – 163.
5. Савельев А.Н., Савельев А.Н., Киринов А.М. Изменение динамической составляющей нагрузок в приводах клеток непрерывно-заготовочного стана // Изв. вуз. Черная металлургия. 1984. № 12. С. 135 – 137.
6. Савельев А.Н., Локтева Н.А., Бич Т.А. Особенности операций по разработке метода формирования динамической модели при определении нагруженности элементов машин: учеб. пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. – 175 с.
7. Воскресенский В.А., Киринов А.М. Влияние скорости прокатки на распределение давлений во внешних зонах высоких полос. – В кн.: Исследование и расчет металлургического оборудования: сб. науч. трудов. – Новокузнецк: изд. СМИ, 1971. С. 97 – 102.
8. Савельев А.Н., Ступаков М.И. Определение динамических нагрузок в технологическом оборудовании. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 1995. – 110 с.
9. Статистический анализ и математическое моделирование блюминга / С.Л. Коцарь, В.Н. Поляков, Ю.Г. Макаров, В.А. Чичигин. – М.: Металлургия, 1974. – 280 с.
10. Грудев А.П., Брусенков И., Шломчак Г.Г. Контактные напряжения при захвате полосы валками // Обработка металлов давлением. 1972. № 58. С. 231 – 235.
11. Tofel W., Schneider E. Creifen Von Wolaen Dei weronderlicher Walegeschwindigkeit // Stahl und Eisen. 1924. № 12.
12. Макаев С.В. К вопросу захвата металла валками блюминга // Сталь. 1956. № 12. С. 1084 – 1094.
13. Куприн М.И. Влияние скорости скольжения на величину коэффициента трения при горячей прокатке. – В кн.: Сборник научных трудов. – Магнитогорск: изд. Магнитогорского горно-металлургического ин-та, 1957. Вып. 11. С.
14. Фон Кортцфляйт. Производственные исследования условий захвата и установившегося процесса при прокатке блюмов на реверсивном стане // Черные металлы. 1967. № 8. С. 11 – 20.

© 2017 г. А.Н. Савельев,
Н.А. Локтева, В.С. Королев
Поступила 13 апреля 2017 г.

О.В. Матехина

Сибирский государственный индустриальный университет

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖИЛОГО ФОНДА И ВОПРОСЫ ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ

Вопрос решения жилищной проблемы в стране является одним из важных и всегда актуальным. Существуют Государственные программы обеспечения населения жильем, аналогичные программные документы принимаются в различных регионах и городах России.

Для решения поставленных задач не обязательно использовать возможности строительной индустрии только в части строительства нового жилья. Имеющийся жилой фонд страны достаточно высок, но он не соответствует постоянно растущим запросам проживающих в нем людей. Установлено, что требования, предъявляемые к жилищу, изменяются каждые 7 – 8 лет. Учитывая, что в течение последних 20 – 25 лет существующие здания подвергались практически только косметическим или аварийным ремонтам, состояние современного жилья в целом можно оценить как не вполне удовлетворительное.

И здесь возникает множество вопросов таких, как удобство планировки, техническое состояние зданий и сооружений, их инженерное благоустройство, плотность существующей застройки, развитость сервисной инфраструктуры отдельных районов и городов в целом и т.д. Реконструкция существующих жилых домов позволит в значительной мере снять остроту проблем при значительно меньших затратах по сравнению с новым полномасштабным строительством.

Попробуем оценить современное состояние жилищного фонда. Многообразие зданий, составляющих жилищный фонд страны, затрудняет их классификацию и оценку состояния по различным параметрам изношенности. Одним из признаков классификации зданий является их возраст. На конференции европейских статистиков было принято группировать здания по возрасту в три группы:

I группа – построенные до конца первой мировой войны;

II группа – построенные между концом первой и началом второй мировых войн;

III группа – построенные после второй мировой войны.

В нашей стране жилые здания разделяются в следующих пропорциях: около 4 % жилищного фонда России – дореволюционные постройки; около 24 % – ныне существующий жилищный фонд, построенный с 1917 по 1960 гг.; 72 % построено в период массового индустриального жилищного строительства – после 1961 г.

Эта классификация могла бы помочь оценить степень изношенности зданий, однако качество исполнения зданий в рамках одного периода, их удобство с планировочной точки зрения, ряд других параметров различаются настолько, что однозначно сказать, какие здания той или иной группы подлежат сплошной реконструкции или сносу невозможно.

При классификации жилья представляется целесообразным исследовать их объемно-планировочные решения. При этом выделяются следующие группы зданий:

Ia – дореволюционная постройка – квартиры повышенного качества: 6 – 9 комнат, жилая площадь квартир 100 – 150 м², отдельные комнаты до 35 м², просторные кухни, передние, наличие комнат для прислуги, парадных и черных лестниц; высота этажа до 4 м. Планировочные параметры вполне соответствуют современным понятиям комфортного жилища для высокообеспеченного населения. Такие здания скорее требуют ремонта той или иной степени капитальности – в зависимости от их технического состояния.

Iб – дореволюционная секционная постройка – квартиры из 2 – 5 комнат площадью до 80 – 100 м², высота этажей до 3,5 м. Планировочные параметры вполне соответствуют современным понятиям комфортного жилища людей среднего достатка. Реконструкция не требуется.

Iв – дореволюционная постройка коридорной и галерейной системы с квартирами по 10 – 20 комнат с площадью одной комнаты 20 – 35 м², одной кухни и одного помещения для умывания и туалета, высота этажей до 3,5 м. Архитектурно-планировочные решения дореволю-

ционных зданий последней группы (Iв) не способствуют хорошим гигиеническим условиям проживания. Для многих зданий характерны довольно широкие (более 13 м) корпуса, 12 % зданий имеет ширину 20 м и более. Для условий инсоляции помещения необходимо, чтобы его глубина не превышала 6 м, что в зданиях с такой шириной корпуса невозможно. Длина фронта фасада, обслуживаемого одной лестницей, в ряде домов достигает 25 – 30 м, отсюда и большие площади секций, превышающие 300 м². Эти признаки, в основном, характерны для так называемых «доходных домов». Помимо вышеперечисленного, они отличаются большим количеством комнат при низком уровне санитарно-технического благоустройства, отсутствием членения внутриквартирного пространства на функциональные зоны (дневного пребывания, рабочую, зону отдыха и пр.). Подобные жилища заселялись по принципу «в одной комнате – одна семья». Здания требуют перепланировки, а также дополнительных мероприятий по обеспечению их инженерным благоустройством.

Iг – остальные типы «старой» постройки с хаотичной планировкой, в том числе бывшие особняки, общественные и промышленные здания, приспособленные под жилье в первые годы Советской власти. Такого рода здания чаще всего неудобны для проживания, поэтому есть смысл рассматривать их с точки зрения изменения характера использования, если они представляют какой-то исторический интерес. Если же эти здания не имеют исторической и архитектурной ценности, следует проанализировать вариант их сноса и строительства на этом месте современного комфортного жилья.

II – здания первых пятилеток: квартиры из 2 – 5 комнат, площадью 50 – 80 м², высота этажей до 3,5 м. Подобные здания строились в период «строительства коммуны», площади комнат минимальны, кухни, ванные комнаты, уборные не позволяют разместить в них современное оборудование, комфорт проживания отсутствует. Единственным плюсом этих

квартир является высота потолков, дающая необходимый объем в расчете на каждого проживающего. При условии осуществления перепланировки в пределах одной квартиры (приведение площади помещений в соответствие с современными санитарно-гигиеническими нормами) количество комнат в квартире уменьшается (например, с трех до одной), что неизбежно ведет к уменьшению количества проживающих в доме жильцов.

IIIа – здания массового индустриального строительства с площадью жилых и нежилых помещений, не соответствующей действующим в настоящее время санитарным требованиям; заселяются по формулам «К» и «К + 1» (количество комнат равно или на одну больше, чем членов семьи), высота этажей от 2,5 м. Необходима перепланировка. В ряде случаев, в зависимости от технического состояния здания, требуются значительные затраты на осуществление капитального ремонта конструктива здания.

IIIб – квартиры с площадью, соответствующей современным санитарным требованиям, заселяются по формулам «К» и «К – 1», высота этажей от 2,5 м.

IIIв – квартиры с площадью, соответствующей современным и перспективным требованиям, заселяются по формулам «К + 1», «К» и «К – 1».

Последние две категории жилищ относятся к застройке от 1970-х годов до современного периода. Реконструкции в настоящее время не подлежат.

Одним из существенных показателей, определяющих уровень эксплуатационных качеств жилых зданий (и следовательно уровень комфортности проживания в них), является степень инженерного благоустройства (см. табл. 1).

Однако здесь нет данных о степени телефонизации жилья, не говоря о более современных элементах инженерного благоустройства, включая возможность пользования сетью Интернет и т.п. Практически ни в одном городе (не говоря уже о более мелких поселениях) нет 100 %-ного обеспечения жилого фонда основ-

Т а б л и ц а 1

Обеспеченность жилого фонда элементами инженерного благоустройства

Основные элементы инженерного благоустройства	% общей площади жилья
Водопровод	91,5
Канализация	89,5
Центральное отопление	88,4
Горячее водоснабжение	69,7
Ванны	82,4
Газ	54,3
Электроплиты	20,6

ными видами удобств ни по одному показателю, что в современных условиях совершенно недопустимо.

Главным дефектом инженерного обеспечения практически всех городов России является большой физический износ коммуникаций. Этому способствует использование недолговечных материалов, а также «недоремонт», который накапливался десятилетиями и особенно усугубился за последние 20 – 25 лет.

Все вышесказанное говорит о значительном моральном износе старого жилого фонда. Моральным износом называют несоответствие зданий существующим (на момент оценки) нормативным объемно-планировочным, архитектурно-конструктивным, санитарно-гигиеническим и другим требованиям. Причины, обуславливающие процесс морального износа, носят ярко выраженный социальный характер. Жилая квартира является местом отдыха и бытовой деятельности людей. Именно с этих позиций и рассматривается уровень комфортности жилища. Критериями являются гигиенические (температурно-влажностный режим, качество воздушной среды, зрительный, световой и шумовой режимы) и функциональные факторы (объемно-планировочные и конструктивные решения, уровень инженерного благоустройства).

Представления о критериях уровня оценки качества жилья постоянно меняются с поступательным развитием человеческого общества. Поэтому здания, построенные на требуемом уровне комфортности, спустя небольшой промежуток времени перестают соответствовать возросшим требованиям. Так происходит моральное старение (износ) жилых зданий, наступающее обычно значительно раньше заметного физического износа. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, требования людей к планировке и внутреннему содержанию жилища за десятилетие меняются два – три раза.

При рассмотрении вопросов реконструкции большое значение имеет конструктивное решение зданий. Для большинства жилых зданий первой и второй групп характерны продольные несущие стены, решаемые по однопролетной (около 20 %), двухпролетной (более 65 %), трехпролетной (примерно 15 %) схемам. При этом однопролетные здания, в основном старой дореволюционной постройки (60 – 70-е годы XIX века), использовали в качестве несущих элементов междуэтажных перекрытий ригели большого сечения из корабельного леса. По мере истощения запасов корабельного леса балки становились тоньше, и пролеты умень-

шались, возникали внутренние несущие стены, промежуточные столбы, колонны, несущие перегородки. Значительная прочность деревянных балок из строевого леса позволяет эксплуатировать их по сей день, однако современные противопожарные нормы запрещают использование деревянных перекрытий в зданиях выше двух этажей. Соответственно, подобные здания требуют реконструкции по условиям пожарной безопасности.

Техническое состояние несущих конструкций зданий, инженерных коммуникаций, ограждающих конструкций со временем ухудшается. Здания «изнашиваются» аналогично всем материальным объектам. Определение износа отдельных частей, элементов и систем зданий, застройки в целом диктует очередность проведения ремонтов и реконструкций, их объемы и экономическую целесообразность проведения того или иного реконструктивного мероприятия.

Физический износ – утрата зданием (или другим объектом) в целом, а также его частей, первоначально заданных эксплуатационных свойств, потеря со временем первоначальной потребительской стоимости, эксплуатационных качеств и технических свойств: прочности, жесткости, теплозащиты, а в ряде случаев и внешнего вида.

Физический износ определяют в процентах и рублях (по восстановительной стоимости здания). Для приближенных оценок можно пользоваться сопоставлением фактической продолжительности эксплуатации здания с нормативным сроком его службы. Определение физического износа здания по его фактическому состоянию состоит в том, что с помощью различных методов неразрушающего контроля устанавливают процент износа каждого элемента здания. Степень износа здания в целом определится как арифметическая средневзвешенная величина. На практике используют укрупненную шкалу для определения физического износа здания (см. табл. 2).

Для исторических центров городов необходимо учитывать историческую и архитектурную ценность обследуемых зданий. Для более рационального проведения текущих, капитальных ремонтов и реконструктивных мероприятий зданий и сооружений необходимо создание банков данных о состоянии жилого фонда.

Экономичность проведения реконструкции жилой среды обитания оценивается по первоначальному (капитальному) и эксплуатационным затратам.

Единовременные капитальные затраты (инвестиции) зависят от принятых проектных решений и эффективности строительных работ.

Характеристика технического состояния здания в зависимости от величины физического износа

Физический износ, %	Техническое состояние	Общая характеристика технического состояния	Примерная стоимость ремонта, в % от восстановительной стоимости
0 – 20	Хорошее	Повреждений и деформаций нет. Имеются мелкие дефекты, не влияющие на эксплуатацию и устраняемые при текущем ремонте. Капитальный ремонт требуется лишь на отдельных участках, имеющих повышенный износ	0 – 11
21 – 40	Удовлетворительное	Конструктивные элементы в целом пригодны для эксплуатации, но требуется некоторый капитальный ремонт, наиболее целесообразный именно на этой стадии	12 – 36
41 – 60	Неудовлетворительное	Эксплуатация конструктивных элементов возможна лишь при условии проведения значительного капитального ремонта	38 – 90
61 – 80	Ветхое	Состояние несущих конструкций – аварийное. Ограниченное выполнение функций конструктивных элементов возможно только после проведения охранных мероприятий или полной замены конструкций	93 – 120
81 – 100	Негодное*	Конструктивные элементы находятся в разрушенном состоянии	–

*Техническое состояние, характеризующееся как негодное, является скорее теоретическим, т.к. задолго до его достижения здание либо сносят, либо капитально ремонтируют.

Эксплуатационные затраты, включающие затраты на техническое обслуживание (осмотры, профилактический ремонт, управление), расходы на функциональную эксплуатацию, уборку, стоимость услуг поставщиков ресурсов жизнеобеспечения и удаления отходов, страховых взносов, налогов на недвижимость, амортизационных отчислений, находятся во взаимосвязи с инвестициями. Увеличение единовременных капитальных затрат улучшает качество объекта и снижает эксплуатационные расходы и наоборот.

Экономически целесообразный уровень качества определяется из условий оптимизации приведенных затрат $П$, руб:

$$П = C_{эк} + EK,$$

где $C_{эк}$ – ежегодные эксплуатационные расходы; E – нормативный коэффициент эффективности (окупаемости капитальных вложений), чаще всего принимается равным 0,1; K – капитальные затраты, условно принимаемые равными сметной стоимости реконструкции.

В случае, если реконструкция выполняется поэтапно, в первую очередь реконструируют жилые дома, находящиеся в наихудших условиях функционирования, а также дающие наибольший и самый быстрый экономический эффект (минимальный снос, минимальное новое строительство, минимальные работы по усилению конструкций при новом функциональном наполнении).

Следует обратить внимание на то, что более половины жилых зданий, не удовлетворяющих

жильцов с точки зрения планировочного решения, относятся ко второй категории с точки зрения физического состояния корпуса, то есть в зоне, наиболее оптимальной для проведения ремонта и реконструкции с экономической точки зрения.

Выводы. Систематизация типов жилых зданий по возрасту, объемно-планировочным, санитарно-гигиеническим, конструктивным параметрам, степени обеспеченности инженерным благоустройством позволяет определить первостепенные задачи реконструкции жилых зданий с учетом их морального и физического износа и максимальной экономической эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матехина О.В. Планировка, застройка и реконструкция населенных мест: учебное пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2004. – 213 с.
2. Матехина О.В., Осипов Ю.К. Значение реконструкции гражданских зданий в решении социальных и функциональных задач развития города / Труды НГАСУ. – Новосибирск: изд. НГАСУ, 2003. – Т. 6, № 4 (25). С. 171 – 175.
3. Шепелев Н.П., Шумилов М.С. Реконструкция городской застройки – М.: Высшая школа, 2000. – 271 с.

© 2017 г. О.В. Матехина
Поступила 15 мая 2017 г.

В.Ф. Панова, И.В. Камбалина, С.А. Панов

Сибирский государственный индустриальный университет

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Долговечность массовой застройки ограничена во времени, ее конечный срок службы составляет 10, 50, 100... лет. Это время, в течение которого техническое обслуживание и ремонт экономически целесообразны. Наиболее продолжительный срок эксплуатации имеют мосты (до 200 лет) и тоннели (до 500 лет). В настоящей работе речь пойдет о долговечности различного рода зданий, в том числе жилых.

Важную роль в долговечности объектов играют выбранные материалы [1]. О стойкости деревянных, клееных конструкций подробно описано в работах В.М. Хрулева [2] и его соратников [3, 4]; о стойкости теплоизоляционных, стеновых материалов можно узнать в работах [5, 6], а композиционных материалов – в работах [7 – 9]. Кроме материалов, на долговечность объектов влияет целый комплекс факторов, начиная от проектирования, в котором заложены мероприятия по защите от коррозии, и заканчивая ремонтными работами.

Цель настоящей работы: систематизировать, собрать основные факторы, которые могут продлить срок службы зданий, в том числе жилых домов.

Повышение эксплуатационной стойкости строительных материалов, изделий и конструкций, из которых создаются строения, состоит из *первичной* (активной) и *вторичной* (пассивной) защиты. Первичная защита предполагает создание условий, при которых коррозия материалов будет сведена к минимуму. Мероприятия по защите материалов от коррозии выполняются, прежде всего, на стадии проектирования строения. Предполагаются следующие виды активных мероприятий на различных этапах строительства объектов:

- разработка генерального плана предприятия;
- организация технологического процесса;
- выбор материалов с технико-экономическим обоснованием;
- выбор формы элементов строительных конструкций, исключающий образование застойных зон;
- воздействие агрессивной среды;

– ремонт как фактор, повышающий долговечность объекта, установление основных видов дефектов и способов их устранения;

– снос жилого фонда как последний этап функционирования объекта (на примере города Новокузнецка).

Ниже приведено описание перечисленных этапов.

Разработка генерального плана предполагает размещение цехов промышленных объектов с учетом розы ветров, направления потока грунтовых вод, исключая коррозионное воздействие с подветренной стороны и в зоне действия агрессивных вод. Рекомендуется блокировать цеха с агрессивной средой. Особое внимание уделяется складам щелочей и кислот. Самой распространенной агрессивной средой является влага. При отсутствии вертикальной планировки осадки могут сливаться в ливневую канализацию, где должна быть предусмотрена защита от коррозии.

По степени агрессивности сред предприятия делятся на группы: с долговечностью 5 лет – химическая, пищевая, металлургическая промышленность и др.; с долговечностью 10 лет – ликероводочное производство; с высокой долговечностью – парфюмерное производство, производство строительных материалов, изделий, конструкций и др.

По степени опасности воздействия на конструкции: внутри помещения, выше уровня отметки пола «0,000» – наружная часть емкостей, верхняя часть стен (возможно испарение влаги); на уровне пола «0,000» – полы, фундаменты, внутренняя часть емкостей (длительное увлажнение, плюс ударная нагрузка); внутри помещения, надземная часть, примыкающая к полу – нижняя часть стен и колонн (возможно частичное увлажнение при гигиенической уборке снаружи помещения, выше уровня пола «0,000» (УФ излучение, температура, ветер, осадки); ниже уровня пола «0,000» (контакт с почвой, промерзание, грунтовые воды, механическая нагрузка, но нет солнечного света).

Организация технологического процесса предусматривает меры, направленные на недопущение контакта агрессивных сред со

строительными конструкциями, что обеспечивается следующими способами:

- герметизация оборудования с целью предотвращения утечек;
- организованный отвод и улавливание технологических выбросов;
- электроизоляция и заземление оборудования, препятствующие утечке электрического тока.

Выбор материалов для конструкций сопровождается анализом стойких материалов для конкретных условий эксплуатации и выбором наиболее приемлемых с экономической точки зрения. Основным материалом для строительства – это бетон и железобетон. Для повышения коррозионной стойкости железобетонных конструкций важным является, прежде всего, повышение плотности бетона, например за счет ограничения использования материалов водонепроницаемостью до W8. Повысить плотность, прочность и трещиностойкость бетона можно, например, если применять уплотняющие добавки: нитрат железа, сульфат железа, пластификаторы, суперпластификаторы, добавки нового поколения Glenium, за счет введения мелкой фибры из минерального волокна. Для повышения химической стойкости бетона рекомендуется применение цемента с содержанием $C_3S < 65 \%$, $C_3A < 7 \%$, $C_3A + C_4AF < 22 \%$.

Выбор эффективных элементов конструкций. Для уменьшения коррозии рекомендуется создание конструкций с наиболее компактной формой сечений. Следует применять безбалочные решения междуэтажных перекрытий, сплошные или замкнутые сечения, которые имеют преимущество перед решетчатыми, бесфонарными шатровыми – перед фонарными и т.д.

Защита конструкций от воздействия агрессивных сред осуществляется применением ингибиторов коррозии или с помощью средств для нейтрализации стоков [10 – 12]. При проектировании конструкций, предназначенных для эксплуатации в агрессивной среде, их коррозионную стойкость следует обеспечивать за счет применения коррозионно-стойких материалов, добавок, повышающих коррозионную стойкость и защитную способность стальной арматуры; за счет снижения водо- и газопроницаемости технологическими приемами; необходимо установление требований к категории трещиностойкости, ширине расчетного раскрытия трещин, толщине защитного слоя [13, 14].

При проектировании конструкций следует предусматривать различные покрытия:

- лакокрасочные при действии газообразных и твердых сред (аэрозоли);
- лакокрасочные толстослойные (мастичные) при действии жидких сред, при непосредственном контакте покрытия с твердой агрессивной средой;
- оклеенные при действии жидких сред, в грунтах, в качестве непроницаемого подслоя в облицовочных покрытиях;
- облицовочные, в том числе из полимербетонов при действии жидких сред, в грунтах, в качестве защиты от механических повреждений оклеенного покрытия;
- пропиточные (уплотняющие) химически стойкими материалами при действии жидких сред, в грунтах;
- гидрофобизационные при периодическом увлажнении водой или атмосферными осадками, образовании конденсата, в качестве обработки поверхности до нанесения грунтовочного слоя под лакокрасочные покрытия;
- биоцидные при воздействии грибов и бактерий, выделяющих кислоты.

Коррозионно-стойкие материалы. К таким относятся:

I Неорганические материалы: горные породы: кислые (кислотостойкие горные породы (гранит)); основные (осадочные горные породы (кальцит, доломит)), защищают от действия щелочей.

К неорганическим материалам также относятся *керамика кислотоупорная; бетон кислотоупорный; серные мастики*, полученные на основе расплава технической серы и кислотостойких наполнителей [15]; *стекло и каменное литье* в виде плиток и облицовок в среде с содержанием кислот, щелочей до 20 %. В качестве наполнителя эффективно использовать специальные сетки или волокна.

Кроме того, сюда относят *углеродные и углеграфитовые, графитовые изделия*, которые применяют для внутренней облицовки технологического оборудования; в качестве матрицы используют пироглерод, коксовые остатки термореактивных смол, каменноугольного или нефтяного пека; в качестве волокон-наполнителей применяют высокопрочные *углеродные волокна*, такие как нити (непрерывные и рубленые), жгуты, ткани.

II Органические материалы: материалы на основе полимеров – это полимербетоны класса В 25-80, стеклопластики, растворы, мастики на основе эпоксидных, полиэфирных, акриловых, фурановых и других смол, в соответствии с ГОСТ 25246. Сюда же относят:

– *гуммировочные материалы* – листовые, мастичные и жидкие резиновые смеси, латексные композиции;

– *защитные покрытия на основе битумов* (композиций «битум + полимер» применяются для защиты от кислот);

– *лакокрасочные покрытия* – в слабоагрессивной среде применяют лакокрасочные материалы: алкидные, масляные, нитроцеллюлозные, ПВА, латексные; перхлорвиниловые. В среде средней степени агрессивности используют покрытия типа кремнийорганических, полиуретановых, эпоксидных, на основе ГКЖ для защиты бетонов, древесины, металла. В условиях сильной агрессии (жидкие, редко газообразные среды) используют покрытия: перхлорвиниловые, на основе каучуков, мастичные материалы;

– *порошковые краски* как покрытие наносят в кипящем слое или электростатическом поле на металлические изделия и оборудование, это композиции на основе полиэтилена, полипропилена, эпоксидов [12].

При антикоррозионной защите полов самый эффективный способ защиты – устройство монолитных полов. *Наливные полы* устраивают по цементно-песчаной стяжке, связующие – акриловые, полиуретановые, эпоксидные. Каркасные полы устраивают на огрунтованное бетонное основание.

При эксплуатации зданий важное место занимает их *своевременный ремонт*. Он включает: *техническое обслуживание* (ТО) зданий и сооружений – это комплекс работ по контролю их технического состояния, поддержанию работоспособности и исправности, наладке, регулировке, подготовке сезонной эксплуатации отдельных элементов и зданий в целом, а также соблюдению в них и на прилегающих территориях экологических требований [16 – 18].

Для продления срока службы зданий применяют:

– *капитальный ремонт* (КР) – это комплекс ремонтно-восстановительных работ с целью усиления или восстановления с целесообразным улучшением эксплуатационных показателей и повышением надежности элементов зданий и сооружений [19];

– *текущий ремонт* (ТР) – это комплекс ремонтно-строительных работ по поддержанию эксплуатационных качеств зданий и сооружений путем наладки систем, восстановления защитных покрытий и устранения небольших повреждений;

– *планово-предупредительные ремонты* (ППР) – это ремонты, которые проводятся в сроки, заранее оговоренные в проекте на каж-

дый элемент здания, в соответствии с «Правилами и нормами технической эксплуатации жилищного фонда», «Положениями о планово-предупредительных ремонтах». Примерные сроки ППР для кровли, конструкций кровли – срок службы 100 лет; для рулонной и металлической – 20 лет (ППР через 5 лет с частотой контроля два раза в год). Наружные стены по сроку службы делятся на: кирпичные – 100 лет, керамзитобетонные – 80, из ячеистых бетонов – 50 лет, ППР через 5 лет. Оконные и столярные изделия служат 50 лет, ППР через 5 лет, частота контроля – через 5 лет. Системы центрального отопления устанавливаются со сроком службы 25 лет, ППР – 5 лет, контрольная проверка – 1 раз в год (подключение отопления). Для водопровода и канализационного оборудования – 25 лет, ППР – 10 лет, контроль – от рекламации. У лифтового оборудования срок службы 33 года, ППР – 5 лет, профилактика – по инструкции.

Цель технической эксплуатации состоит в «торможении» износа здания. Капитальный ремонт, то есть усиление и замена конструкций и инженерного оборудования позволяют замедлить износ и благодаря этому продлить срок службы здания. Физический износ можно уменьшить путем капитального ремонта, а моральный – только реконструкцией (табл. 1, 2).

При ремонте чаще всего встречаются нижеперечисленные дефекты.

Основные дефекты в каркасных зданиях – узловые соединения элементов каркаса, особенно в колоннах. Дефекты возможны из-за просадки грунтов, сейсмических воздействий, перегрузки конструкций, просчетов при проектировании. Способы устранения дефектов колонн и каркаса следующие: инъектирование трещин – введение под давлением через штуцер (пакер) полимеррастворов, полиуретановых композиций; устройство железобетонных обоев по адгезионной промазке; оклеивание стеклотканью на эпоксидных смолах; устройство стальной рубашки.

Дефекты перекрытий. Для устранения «клавишности» перекрытий необходима замена раствора в швах на полимерцементный раствор или мелкозернистый бетон по адгезионной подмазке. Возможно предварительное армирование стыков на дополнительную нагрузку.

Усиление фундамента осуществляется за счет устройства приливов – башмаков – к существующему фундаменту, устройства железобетонных рубашек, при бетонировании по адгезионной подмазке с анкерровкой арматуры в усиливаемом фундаменте.

Методика определения физического износа гражданских зданий

Физический износ	Состояние конструкций	Примерная стоимость ремонта
0 – 20 %, состояние хорошее	Повреждений и деформаций нет, имеются отдельные мелкие дефекты, нет следов устранения дефектов	0 – 11 % от первоначальной стоимости
21 – 40 %, состояние удовлетворительное	Имеются следы ремонтов, небольшие трещины на перекрышках, отдельные волосяные трещины на потолках. В целом конструктивные элементы пригодны для эксплуатации, но требуется некоторый капитальный ремонт	12 – 36 % от первоначальной стоимости
41 – 60 %, состояние неудовлетворительное	Имеется много следов ремонтов, искривление горизонтальных линий, трещины в кладке, отслоение пола, большое количество поврежденных ступеней. Эксплуатация возможна при условии значительного капитального ремонта	37 – 90 % от первоначальной стоимости
61 – 80 %, ветхое здание	Открытые трещины, большие искривления, отклонение стен от вертикали, массовое повреждение пола, перекошенные окна и двери, большое количество поврежденных ступеней, аварийное состояние несущих конструкций. Можно использовать, если будут проведены охранные мероприятия или полная замена конструктивных элементов	91 – 120 %
81 – 100 %, негодное здание	Здание находится в опасном состоянии: стены разрушены и деформированы, прогибы потолков, искривление горизонтальных линий, внутренняя отделка полностью разрушена. Восстановлению не подлежит	Не оценивается

Основные дефекты наружных стен – это промерзание, утрата герметичности стыков. Способы устранения дефектов стен состоят в установке дренажных отверстий в наружных стенах, просушке, заливке полости заливочным пенопластом; в наклейке теплоизоляции, устройстве «мокрого» или вентилируемого фасада; в повышении культуры производства.

Конечной стадией существования объекта является его снос. Ниже приведены данные о положении жилищного фонда, выстроенного в 1920 – 1960-е гг. в г. Новокузнецке. Около 35 % жилых домов Новокузнецка нуждается в реконструкции, модернизации или сносе. В настоящее время из зданий, имеющих моральный износ 17 – 23 %, составляют постройки 20 – 40-х годов, из них 40 % находятся в аварийном состоянии, 50 % требуют капитального ремонта; 40 % – панельные здания первых серий постройки 60-х годов. Панельные «хрущевки» были признаны критической проблемой. В 60-е годы в СССР был выполнен грандиозный план по переселению людей из землянок и бараков в индустриальное жилье. В настоящее время ресурс этих построек, рассчитанных на 40 лет, истек, и их необходимо

сносить или модернизировать. При постройке панельных домов их первоначальная стоимость была в 100 раз меньше домов «сталинской» застройки и составляла 200 долл./м². Высота помещений 2,48 м, площадь кухонь 5,5 м², квартир около 37 м². Однако панельные здания не полностью исчерпали свой технический ресурс. Для устранения морального износа необходима реконструкция, вертикальная перепланировка, создание двухуровневых квартир. При сносе пятиэтажек для расселения жильцов необходимо построить в три раза больше квартир, чем было.

Предложения по реконструкции панельных и ветхих домов:

– снос;

– модернизация: надстройка 4-5 этажей на внешнем фундаменте или строительство мансардной надстройки (двух этажей из легких конструкций, например, из ячеистобетонных блоков или устройство деревянных мансард).

Выводы. Для обеспечения долговечности строений необходимо учесть комплекс мероприятий, которые включают проектирование; разработку генерального плана; организацию технологического процесса; монтаж; выбор

Оценка морального износа гражданских зданий

Моральный износ	Характеристика
0 – 15 %	Планировка квартир пригодна для посемейного расселения, дом оснащен всеми видами благоустройства, перекрытия и перегородки нестаревающие
16 – 25 %	Не хватает отдельных видов благоустройства (например, ванн); перекрытия и перегородки частично или полностью деревянные
26 – 35 %	Планировка квартирная, но неудобна для посемейного заселения, отсутствуют некоторые виды благоустройства (горячая вода, лифт, мусоропровод, телефон, ванны), перекрытия полностью деревянные
36 – 45 %	Планировка различная, в отдельных частях здания не совпадает по вертикали, непригодна для посемейного расселения, темные и проходные кухни
> 45 %	Расположение помещений бессистемное, не совпадает по вертикали, непригодно для посемейного расселения – многоквартирное коммунальное жилье, санузлы могут располагаться над комнатами или кухнями

формы и эффективного материала для элементов строительных конструкций. Необходимо предусмотреть мероприятия по обеспечению коррозионной стойкости материалов, изделий и конструкций, своевременно выполнять все виды ремонта: планово-предупредительный, текущий, капитальный и устранять все дефекты здания. Анализ жилого фонда г. Новокузнецка показал, что ресурс жилого фонда, выстроенного в 1920 – 1960 гг. и рассчитанного на 40 лет, истек, и здания требуют или сноса, или модернизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимов Р.З. Долговечность строительных материалов. – Казань: изд. КХТИ, 1988. – 81 с.
2. Хрулев В.М. Прогнозирование долговечности клеевых соединений деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1981. – 128 с.
3. Мартынов К.Я. Комплексная защита древесины в строительных изделиях и конструкциях. – Новосибирск: Наука, 1996. – 123 с.
4. Машкин Н.А. Повышение стойкости и долговечности модифицированной полимера древесины. – Новосибирск: изд. НГАСУ, 1996. – 64 с.
5. Бобров Ю.Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 168 с.
6. Завадский В.Ф., Кара-Сал Б.К. Современные системы утепления и долговечности стен зданий. – Кызыл: изд. ТывГУ, 2005. – 85 с.
7. Соломатов В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
8. Долговечность строительных конструкций и сооружений из композиционных материалов / В.Ш. Барбакадзе и др. – М.: Стройиздат, 1993. – 251 с.
9. Игнатова О.А. Долговечность строительных материалов. – Новосибирск: изд. НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 156 с.
10. Коррозия бетона, железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин и др. – М.: Стройиздат, 1980. – 553 с.
11. Скороходов В.Д., Шестакова С.И. Защита неметаллических строительных материалов от биокоррозии. – М.: Высшая школа, 2004. – 202 с.
12. Шевяков В.П., Жолудов В.С. Защита от коррозии промышленных зданий и сооружений. – М.: ТОО «Редакция газеты «Архитектура», 1995. – 168 с.
13. ГОСТ Р 52804-2007. Защита бетона и железобетона от коррозии. Методы испытаний.
14. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии: введ. в действ. 1986-01-01.
15. Соколов В.А., Чекулаева Е.И. Кислотоупорные футеровочные, винилпластовые и гуммировочные работы: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1990. – 175 с.
16. Материалы и технологии ремонта, реставрации и реконструкции зданий и сооружений: учебное пособие / А.Т. Пименов и др. – Новосибирск: изд. НГАСУ (Сибстрин), 2008. – 276 с.
17. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений: справоч. пособие / Под ред. М.Б. Бойко. – М.: Стройиздат, 1993. – 205 с.
18. Эксплуатация жилых зданий / Э.М. Ариевич и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 510 с.
19. Нечаев Н.В. Капитальный ремонт жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1990. – 78 с.

© 2017 г. В.Ф. Панова, И.В. Камбалкина,
С.А. Панов

Поступила 5 июня 2017 г.

УДК 692.44

Е.И. Попова, Н.Н. Бащенко, А.И. Сорвачёв, О.Д. Чуприна

Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого

ПОВЕРХНОСТЬ КУПОЛА КАК ЭЛЕМЕНТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Среди пространственных конструкций особое место занимают купольные конструкции или купола (рис. 1). Это одни из наиболее древних пространственных систем покрытия. Первые попытки создания криволинейных крыш – куполов – были предприняты еще в Древнем Риме [1]. Такие крыши применяли в Месопотамии, Сирии, Иране [2]. Основными используемыми для сооружения куполов материалами природного происхождения были камень и дерево. Однако пролет, покрываемый куполом, был меньше, чем сейчас, а оболочка толще. Еще совсем недавно купола в основном использовали как вариант завершения религиозной постройки [3], однако с появлением новых материалов (железобетона [4], различных пластмасс [5]) (рис. 2), а также грамотного применения давно известных материалов, таких как дерево или камень [6], купольные постройки обретают свою популярность. В двадцатом веке значительный вклад в дело строительства и применения купольных конструкций внесли Ледерер, Маковский, Отто, Райт, Бакминстер Фуллер, М.С. Туполев, М.Е. Липницкий, В.А. Савельев [2].

В настоящее время купольные конструкции используют в различном качестве: жилые дома, кафе, офисы, зимние сады, галереи, спортивные сооружения, цирки, обсерватории и даже производственные цеха. В России по большому счету купольные постройки только начинают свое распространение, однако в юго-восточной Азии [7 – 9] и в некоторых странах



Рис. 1. Купольная конструкция

Европы уже давно признаны их преимущества. Там купольные постройки достаточно распространены.

Купол – это не просто здания оригинальной формы и красивого внешнего вида, это и достаточно энергоэффективная строительная система. Эффективность этих конструкций возрастает с увеличением пролета. Не случайно большое количество покрытий площадью более 200 м² являются купольными. По расходу материала купольные конструкции среди пространственных жестких систем являются наиболее экономичными [2, 5]. Экономичность и энергоэффективность купольных построек объясняется уникальными геометрическими свойствами купола как строительной системы [2, 5].

Вопросы энергоэффективности достаточно остро стоят в современном мире, так как на данный момент существует проблема исчерпае-



Рис. 2. Применение современных материалов при строительстве купольных сооружений

мости имеющихся источников энергии. Однако тема энергоэффективности купольных построек как системы еще не рассматривалась ранее.

Во многих работах [1, 3, 10, 11] купол рассматривается с архитектурной точки зрения. Приводятся примеры зданий и памятников архитектуры, где используются купол и сводчатые конструкции, а также рассказывается об истории купольных построек.

Свойства купольных конструкций изучаются в работах [5, 12], здесь же рассмотрены некоторые вопросы их экономической эффективности.

О свойствах куполов, изготовленных из различных материалов, рассказывается в работах [13, 4]. Авторы поясняют, как свойства используемого для изготовления куполов материала влияют на свойства самих куполов.

Авторы работы [14] приводят пример применения системы автоматизированного проектирования путем использования библиотечных элементов, что значительно облегчает проектирование объектов, в том числе и достаточно сложных – купольных.

В работе [15] задана цель: решить задачи формообразования купольных покрытий вертикального цилиндрического резервуара и экспериментально определить ветровые и снеговые нагрузки на крышу. В ходе исследования было предложено несколько нетрадиционных геометрических форм покрытий цилиндрических резервуаров, определены характер распределения и величина снеговой нагрузки на покрытиях предложенных форм.

Важной задачей является рассмотрение основных разновидностей сводчатых конструкций зданий, анализ истории их исследования и текущей степени их изученности. До настоящего времени не найден закон распределения напряжений в теле свода и не разработаны критерии прочности и устойчивости, о чем говорят авторы работ [1, 3] в ходе аналитического обзора.

Исследователь В. Тур в работе [2] рассказывает о принципах формообразования купольных сооружений, рассматривает различные конструктивные решения, узловое соединения элементов, проводит расчет куполов, рассматривает вопросы повышения эффективности купольных конструкций [2].

При проектировании любого сооружения, особенно купольной конструкции, энергоэффективность и экологичность являются важными параметрами. В работах [6, 9, 12, 16 – 18] изучаются преимущества и возможности строительства купольных сооружений – сфер в

современных условиях, рассматриваются проблемы срока службы таких зданий, обсуждаются вопросы выбросов CO_2 и их сокращения, проблемы технологий «зеленого» строительства, делаются выводы об энергоэффективности и экологичности купольных сооружений и их строительства.

Энергоэффективность купола обусловлена его формой. Благодаря геометрии сферы свойства некоторых видов энергии в купольном сооружении оптимальны для экономии [5, 10, 13]. Проведем сравнение купольной постройки и здания прямоугольной формы по некоторым их геометрическим параметрам: жилая (или полезная) площадь здания, высота здания, площадь боковой поверхности, объем. Для корректности сравнивать будем здания с приблизительно одинаковой полезной площадью.

Ниже приведены сравнительные расчеты геометрических характеристик купольного здания с покрываемой площадью круга радиусом $R = 6$ м и постройки прямоугольной формы с покрываемой площадью прямоугольника размерами $a = 8$ м и $b = 14$ м.

Под кровельной поверхностью понимается площадь поверхности здания, которая покрывается впоследствии кровельными материалами или является кровлей. Для купола принято, что $1/3$ всей площади поверхности купола является кровельной, а для прямоугольного дома – площадь верхней грани параллелепипеда с параметрами $8 \times 14 \times 4$ м как минимальная площадь поверхности кровли.

Под стеновой боковой поверхностью понимается площадь боковой поверхности здания, которая впоследствии покрывается стеновыми материалами или является стенами. Для купола это $2/3$ всей площади поверхности, а для прямоугольного дома – сумма площадей боковых граней параллелепипеда с параметрами $8 \times 14 \times 4$ м.

Используемые формулы:

1) для купольной конструкции:

а) жилая площадь здания: $S_{ж.к} = \pi R^2$;

б) площадь боковой поверхности для по-

лусферы: $S_{б.к} = \frac{4\pi R^2}{2}$;

в) площадь кровельной поверхности:

$$S_{к.к} = \frac{S_{б.к}}{3};$$

г) площадь стеновой поверхности:

$$S_{с.к} = \frac{2S_{б.к}}{3};$$

2) для прямоугольного здания:

а) жилая площадь здания: $S_{ж.п} = a \times b$;

б) площадь боковой поверхности: $S_{б.п} = a \times b + a \times h \times 2 + b \times h \times 2$;

в) площадь кровельной поверхности: $S_{к.п} = a \times b$;

г) площадь стеновой поверхности: $S_{с.п} = a \times h \times 2 + b \times h \times 2$;

3) расчет экономии:

а) для кровельных материалов:

$$\frac{S_{к.п} - S_{к.к}}{S_{к.п}} 100 \%;$$

б) для стеновых материалов:

$$\frac{S_{с.п} - S_{с.к}}{S_{с.п}} 100 \%.$$

Высота купольного здания принимается равной его радиусу, а высота здания прямоугольной формы – из расчета, что его объем примерно равен объему купольного здания, то есть полусферы. Поэтому высота прямоугольного здания для расчета сравнительных характеристик определяется по формуле
$$h = \frac{V_{сферы}}{2} / S_{ж}.$$

Как видно из приведенных расчетов (см. таблицу), при одинаковых покрываемой площади и объеме имеет место значительная разница в площади поверхности зданий различных конструкций. Таким образом, одним из преимуществ купольных построек является их энергоэффективность – уменьшение теплопотерь за счет меньшей площади поверхности. Форма купола является в этом смысле самым выгодным вариантом.

Изготавливаются купола практически бесшовными, а значит, и потери тепла через швы тоже будут минимальными по сравнению со зданиями других геометрических форм [14].

Если рассматривать аэродинамические свойства, то купола создают наименьшее сопротивление ветру. Следствием этого является отсутствие сквозняков и выветривания тепла [3, 15]. Если через поверхность уходит меньше тепла за счет того, что сама эта площадь меньше, то и меньше тепла будет попадать в сооружение извне: зимой в купольном доме будет тепло, а жарким летом – прохладно. Таким образом, можно значительно экономить на затратах на дополнительный обогрев или охлаждение здания (рис. 3).

За счет естественной кривизны купола происходит естественная циркуляция воздуха: теплый воздух от пола поднимается вверх, холодный – опускается вниз. Так происходит естественный воздухообмен в купольном здании [1]. В зданиях такой конструкции нет углов – областей, где обычно застаивается воздух. Таким образом, снижаются затраты на кондиционирование воздуха.

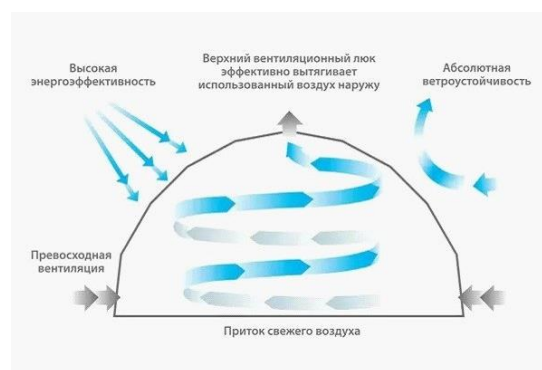


Рис. 3. Схема воздухообмена в купольном сооружении

Сравнение геометрических характеристик купольного здания и здания прямоугольной формы

Сравнительная характеристика	Значение показателя		Выводы
	для купольного здания	для здания прямоугольной формы	
Размеры, м	6 (радиус)	8 × 14	
Жилая площадь здания, м ²	113,04	112,00	Площадь одинакова
Высота здания, м	6	4	
Площадь боковой поверхности, м ² :			
полная	226,10	288	На 22 % меньше общая площадь поверхности купольного здания
кровельная	75,40	112,00	На 33 % меньше площадь кровли купольного здания
стеновая	150,74	176,14	На 14 % меньше площадь боковой поверхности купольного здания
Объем, м ³	452,16	448,00	Объем одинаков

Звук внутри купола распределяется равномернее, чем в прямоугольных зданиях [2]. Также, благодаря меньшей площади поверхности, меньше звуков проникает внутрь сооружения извне, а те звуки, которые все-таки проникают в здание, частично поглощаются из-за многократного отражения. Прекрасные акустические свойства купола снижают затраты на звукоизоляцию.

Многократно отражаясь от стен правильной сферической формы, свет внутри купола рассеивается, становится «мягким», тогда как свет внутри прямоугольных построек поглощается, то есть поглощается [12]. Это может подтвердить простой опыт: замена абажура в виде прямоугольного параллелепипеда на полусферический абажур сделает любую комнату светлее. То есть купол позволяет экономить и на искусственном освещении.

Энергоэффективность купольных конструкций можно увеличить, сделав купольные постройки одними из самых энергоэффективных сооружений. Улучшить естественные показатели энергоэффективности куполов можно путем внесения некоторых изменений в конструкцию самого купола.

К примеру, герметичное отверстие на вершине купола или слуховые окна, которые иногда можно открывать, способствуют улучшению циркуляции воздуха и улучшению вентиляции внутри сооружения [19]. Использование теплоизоляционных материалов или большой воздушный зазор в самой конструкции купола могут уменьшить потери тепла или же, наоборот, проникновение теплого воздуха извне, в зависимости от времени года.

Грамотное размещение окон и стеклопакетов увеличивают поток естественного света, попадающего внутрь здания (рис. 4), а также уменьшают теплопотери. Одним из вариантов также является сооружение прозрачного герметичного отверстия на вершине купола [2] (рис. 5).



Рис. 4. Пример размещения окон при строительстве купольного здания

Размещение на внешней поверхности купола различных приборов для сбора природной энергии солнца, ветра и воды (солнечных батарей, ветряных генераторов, небольших резервуаров для сбора воды и т.д.) (рис. 6), а также использование в строительстве природных экологичных материалов и установка различных средств по утилизации отходов жизнедеятельности могут сделать купольные сооружения одним из вариантов загородных объектов «зеленого» строительства.

Таким образом, при рассмотрении различных свойств куполов можно сделать вывод, что энергоэффективность такой постройки обусловлена, в первую очередь, меньшей по сравнению со зданием прямоугольной формы площадью поверхности. Соответственно, существует целый ряд факторов, за счет которых возможна экономия энергии: меньшие потери тепла, естественный воздухообмен, хорошая звукоизоляция, меньшее поглощение естественного света, лучшее распространение искусственного света.

Авторами рассмотрено и предложено несколько способов изменений конструкции купола, которые помогут сделать его еще более энергоэффективным, не утратив при этом своих первоначальных преимуществ по сравнению с постройками прямоугольной формы. Это отверстие на вершине купола, использование теплоизоляции или создание воздушного зазора, грамотное размещение окон, установка современных приборов для сбора энергии. На основании проделанной работы авторы делают вывод, что купол – это конструкция, имеющая огромный потенциал в сфере «зеленого» строительства. Купольная постройка будет рациональным объектом малоэтажного строительства в любом климате как с экономической точки зрения, так и с точки зрения энергетической эффективности.



Рис. 5. Прозрачный герметичный купол



Рис. 6. Размещение приборов для сбора природной энергии солнца и ветра

Во всем мире существует множество великолепных купольных сооружений и легион их поклонников. В настоящее время возможности применения новых конструкционных материалов, новые возможности выполнения сложных расчетов породило новую волну интереса к купольным конструкциям. Множество людей начинает заново открывать для себя эти жизнеутверждающие, конструктивно безопасные, экологически продуманные формы жилищ.

Выводы. При одинаковых покрываемых объеме и площади помещения площадь поверхности купола значительно меньше площади стен и крыши прямоугольного здания. На основе проведенного сравнения сделаны выводы об энергоэффективных свойствах купольных покрытий за счет меньшей площади оболочки. На основании анализа геометрических свойств куполов отмечены параметры, за счет которых купольная форма является более энергоэффективной. В работе предложено несколько способов увеличения энергоэффективности таких построек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рябухина С.А. Каменные сводчатые конструкции: история, классификация, применение // СУЗИС. 2015. № 6 (33). С. 87 – 97.
2. Тур В.И. Купольные конструкции: формообразование, расчет, конструирование, повышение эффективности. – М.: АСВ, 2004. – 96 с.
3. Зимин С.С., Беспалов В.В., Кокоткова О.Д. Сводчатые конструкции исторических зданий // СУЗИС. 2015. № 2 (29). С. 57 – 72.
4. Sylwester Kobiela, Zenon Zamiar. Oval concrete domes // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2017. Vol. 17. Issue 3. P. 486 – 501.
5. Фри Роберт М. Геодезические купола как наиболее эффективные строительные системы // Строительство и недвижимость [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/sn/1997/31/sn3109.htm>. (Дата обращения 10.05.2017 г.).
6. Gene-Harn Lim, Michael Barry Hirning, Nila Keumala, Norafida Ab. Ghafar. Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia // Energy and Buildings. 2017. Vol. 141. P. 175 – 185.
7. Qingbin Song, Jinhui Li, Huabo Duan, Danfeng Yu, Zhishi Wang. Towards to sustainable energy-efficient city: A case study of Macau // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 75. P. 504 – 514.
8. Yishi Liu. Building Guastavino dome in China: A historical survey of the dome of the Auditorium at Tsinghua University // Frontiers of Architectural Research. 2014. Vol. 3. Issue 2. P. 121 – 140.
9. Vivian W.Y. Tam, Sepani Senaratne, Khoa N. Le, Li-Yin Shen, Josip Perica, I.M. Chethana S. Illankoon. Life-cycle cost analysis of green-building implementation using timber applications // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 147. P. 458 – 469.
10. Кузьяева Н.А., Горбунова В.С. Купольные конструкции как способ реализации новых архитектурных идей // Perspectives of Science and Education. 2014. No. 1(7). P. 269 – 272.
11. Широков В.С., Алпатов В.Ю. Разработка алгоритма и программного инструмента для упрощенного задания геометрии дискретного сферического купольного покрытия при его параметрической оптимизации с применением программных комплексов «Лира» и SCAD // Научный электронный архив. – Режим доступа: <http://www.econf.rae.ru/article/7098>. (Дата обращения 10.05.2017 г.).
12. Прелов С.А. Строительство быстровозводимых жилых и социальных объектов в рамках концепции «Архитектура ноосферы» под брендом «ЛотосДом». – В кн.: Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий». 24-26 марта 2015 г. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2015. С. 42 – 49.
13. Айрапетов Д.П., Заварихин С.П., Макотинский М.П. Пластмассы в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1981. – 190 с.
14. Павлов Г., Супрун А.Н. Геодезические купола: проектирование на современном уровне // САПР и графика. 2006. № 3.

15. Порываев И.А., Сафиуллин М.Н., Семенов А.А. Исследование ветровой и снеговой нагрузок на покрытия вертикальных цилиндрических резервуаров // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 5. С. 12 – 22.
16. Dale E. Yeatts, Dana Auden, Christy Cooksey, Chien-Fei Chen. A systematic review of strategies for overcoming the barriers to energy-efficient technologies in buildings // Energy Research and Social Science. 2017. In press.
17. Amin Haghighi Poshtiri, Safoura Bahar, Azadeh Jafari. Daily cooling of one-story buildings using domed roof and solar adsorption cooling system // Applied Energy. 2016. Vol. 182. P. 299 – 319.
18. Rakhyun Kim, Sungho Tae, Seungjun Roh. Development of low carbon durability design for green apartment buildings in South Korea // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 77. P. 263 – 272.
19. Zhonghua Gou, Xiaohuan Xie. Evolving green building: triple bottom line or regenerative design? // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 153. P. 600 – 607.
20. Amos Darko, Albert Ping Chuen Chan, Ernest Effah Ameyaw, Bao-Jie He, Ayokunle Olubunmi Olanipekun. Examining issues influencing green building technologies adoption: The United States green building experts' perspectives // Energy and Buildings. 2017. Vol. 144. P. 320 – 332.

© 2017 г. Попова Е.И., Бащенко Н.Н.,
Сорвачев А.И., Чуприна О.Д.
Поступила 23 мая 2017 г.

Ю.К. Осипов

Сибирский государственный индустриальный университет

**ГОРОДСКОЙ ЦЕНТР ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ШКОЛЬНИКОВ – НОВЫЙ ТИП ЗДАНИЯ ГОРОДСКОЙ СТРУКТУРЫ**

Принятая в России стратегия всесторонней модернизации страны требует формирования нового социально-психологического типа человека, готового и способного к переменам. Функции подготовки и формирования нового человека может взять на себя система дополнительного образования в широком смысле этого термина, которая должна научить умениям ориентироваться в огромном пространстве информации, обрабатывать ее, структурировать, осваивать и применять в деятельности [1, 2]. Дополнительное образование можно условно разделить на два этапа. Первый этап – это дополнительное образование школьников старших классов, целью которого является правильный выбор будущей профессии. Второй этап – дополнительное профессиональное образование, роль которого возрастает с переходом высшего образования на двухуровневую систему (бакалавр – магистр), что потребует создания системы эффективного доучивания бакалавров до уровня специалистов, способных работать на современном производстве. Чтобы обеспечить второй этап дополнительного образования, необходимо добротнo организовать сферу дополнительного школьного образования, то есть первый этап.

На кафедре архитектуры СибГИУ был создан экспериментальный проект городского центра дополнительного образования школьников. Дополнительное образование – это хорошо забытое старое. Вспомним дома пионеров, станции юных техников, кружки радиолюбителей, авиа- и судомodelистов, балетные студии и т.д., где школьники увлеченно занимались вне школьного расписания любимым делом. Полученные определенные навыки в дальнейшем помогали им ориентироваться в выборе будущей профессии. В основу такого центра положено создание инфраструктурного и функционального пространства, которое должно обеспечить оптимальные условия для выбора школьниками будущей профессии. Эта предпосылка и позволила создать новый тип здания, который укладывается в канву архитектурной типологии зданий и сооружений,

которая представляет один из важнейших разделов архитектурной науки.

Архитектурная типология систематизирует и разрабатывает основные принципы формирования типов зданий и сооружений с учетом их предпочтительных черт и характеристик, раскрывает социальные, функциональные, конструктивно-технические, экономические, градостроительные и архитектурно-художественные требования, определяет классификацию и номенклатуру типов и видов зданий.

В настоящее время сеть учреждений дополнительного образования весьма обширна, размещается она, как правило, в школьных зданиях и в приспособленных помещениях. А проект, разработанный на кафедре архитектуры, предполагает создание отдельного здания центра дополнительного образования как нового типа городской структуры.

Объемно-пространственная композиция здания центра состоит из двух частей: компактная треугольная со встроенной этажеркой, на различных отметках которой размещаются учебные помещения центра, и прямоугольная, где размещен строительный полигон (рис. 1 – 4). Связь между помещениями в уровне этажа осуществляется коридором, а между этажами – лестницей и двумя лифтами.

На первом этаже располагаются административные помещения: кабинет директора, зал собраний, преподавательская, информационная стойка, склад, гардероб, буфет. В пристройке находится строительный полигон, снабженный образцами строительной техники; здесь школьники могут получать основы навыков строительных профессий.

Учебные классы и лаборатории занимают второй, третий и четвертый этажи. На втором этаже располагаются лаборатории географии, химии, физики, класс радиоэлектроники, класс инженерного проектирования, класс основ электроники, в пристройке на отм. +5000 находятся класс биологии и остекленная оранжерея площадью 550 м², где дети смогут познакомиться с экзотическими растениями и растениями, адаптированными под климат Сибири. На третьем этаже расположены клас-

сы математики и начертательной геометрии, класс основ проектной деятельности, класс информационных технологий и робототехники, класс основ технического творчества, класс начального технического моделирования. На четвертом этаже находится лаборатория основ журналистики, студия рисунка и художественного конструирования, фотостудия.

Несущий остов здания представляет собой стальные треугольные решетчатые арки, связанные с встроенной этажеркой горизонтальными стальными элементами. Несущий остов строительного полигона выполнен в металлокаркасе. Покрытия и стеновое ограждение здания центра выполнено из сэндвич-панелей, толщина которых определена на основе теплотехнического расчета для условий климатической зоны Новокузнецка [3].

В представленном проекте центра дополнительного образования есть своя инфраструктура, позволяющая по-новому организовать процесс обучения. Кроме того, предложено дополнить центр дополнительного образования школой первичной инженерной подготовки. Это обусловлено дефицитом инженерных кадров и специалистов среднего звена практически во всех отраслях промышленности [4]. Центр дополнительного образования рассчи-

тан на учащихся старших (9 – 11) классов, где они смогут получить первичные навыки исследовательской и экспериментальной работы в профильных лабораториях физики, химии, биологии, географии, механики, математики, черчения, информатики, робототехники и основ рабочих профессий.

Центр дополнительного образования (рис. 5) ориентирован на школьников любого уровня развития. Такое направление следует рассматривать как дополнительное образование, которое позволит значительно облегчить выбор профессии через систему среднего специального и высшего образования. Процесс обучения в центре дополнительного образования может быть организован на уровне партнерских отношений с вузами Новокузнецка, администрацией города и более широким участием государства через систему профориентационной работы и государственного заказа на специалистов.

Выводы. Дополнительное образование школьников должно иметь отличие от основного школьного образования и поэтому требует взвешенного подхода к формированию учебной программы и иной основы для коммуникации с учащимися. В результате есть возможность получить сбалансированную систему выбора будущей профессии.

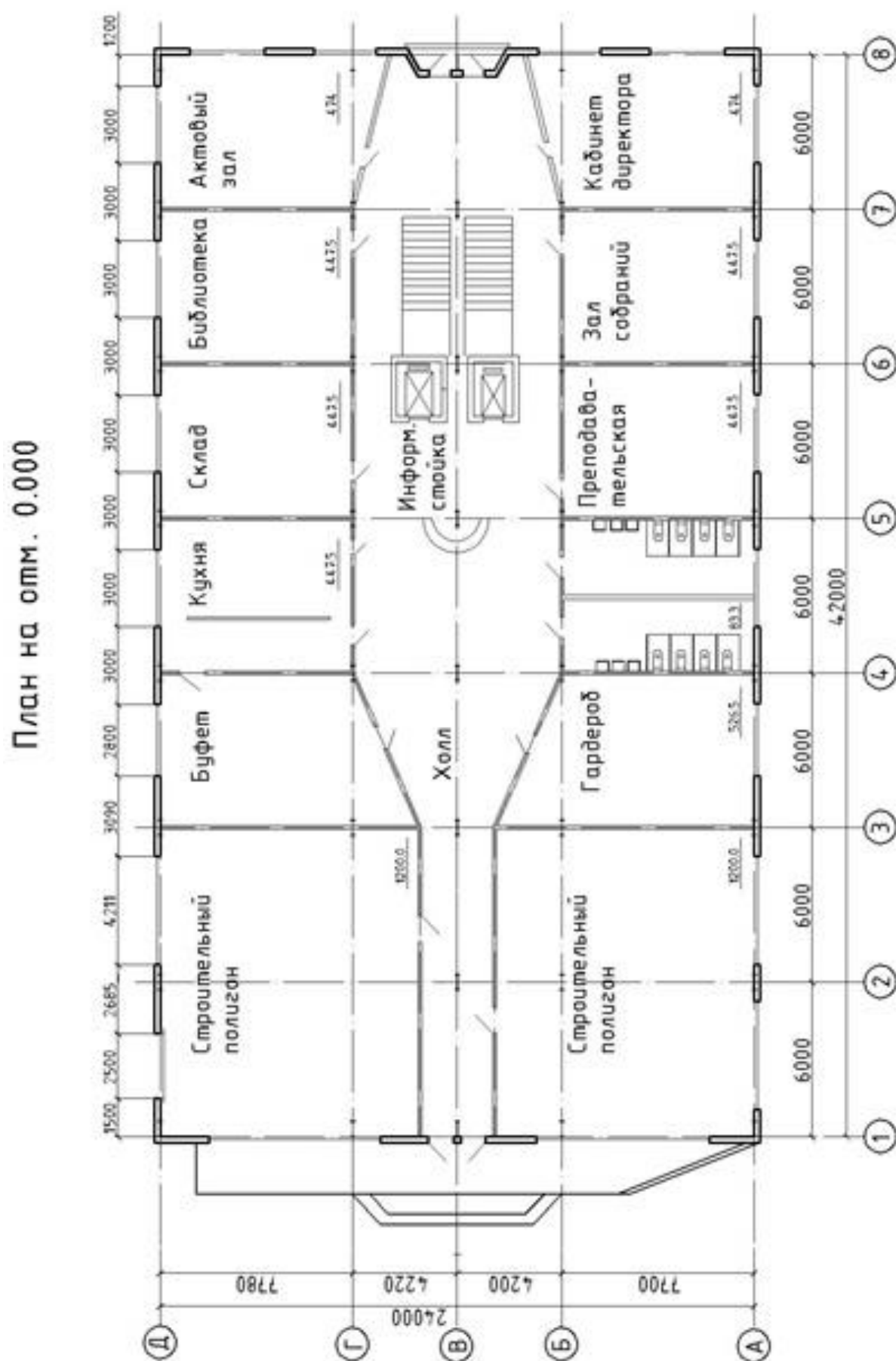


Рис. 1. План 1-го этажа

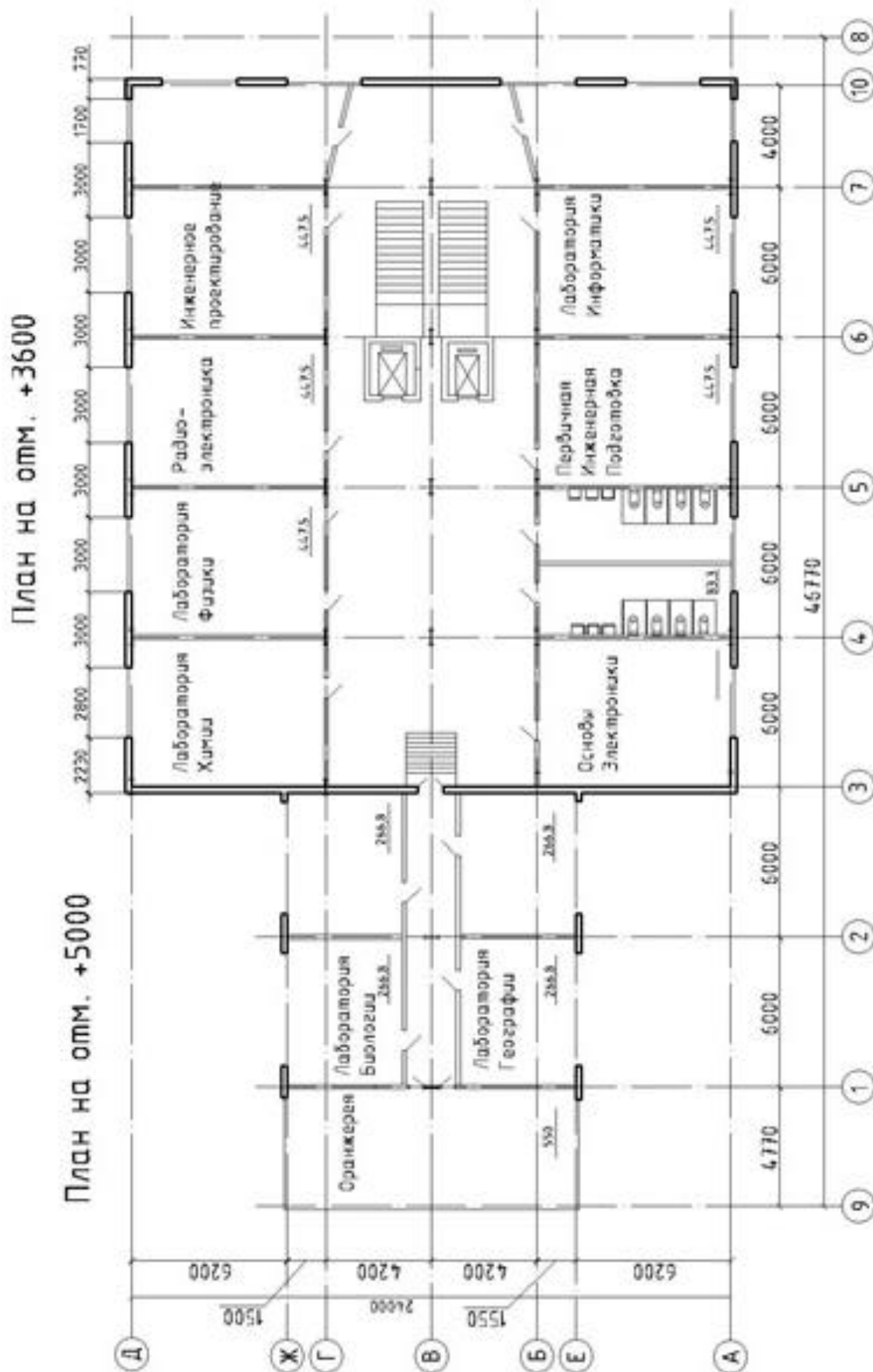
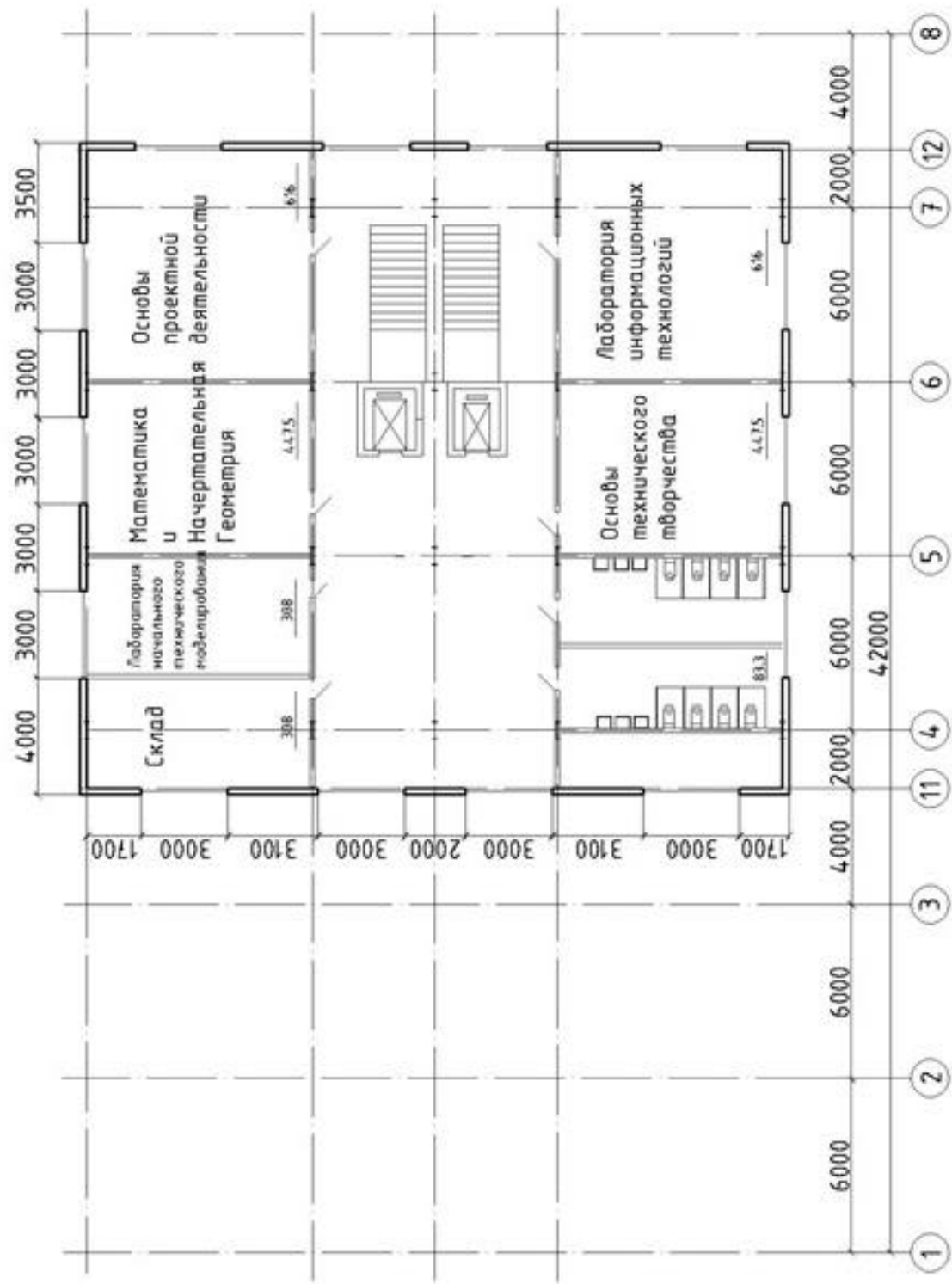


Рис. 2. План 2-го этажа



- 40 -

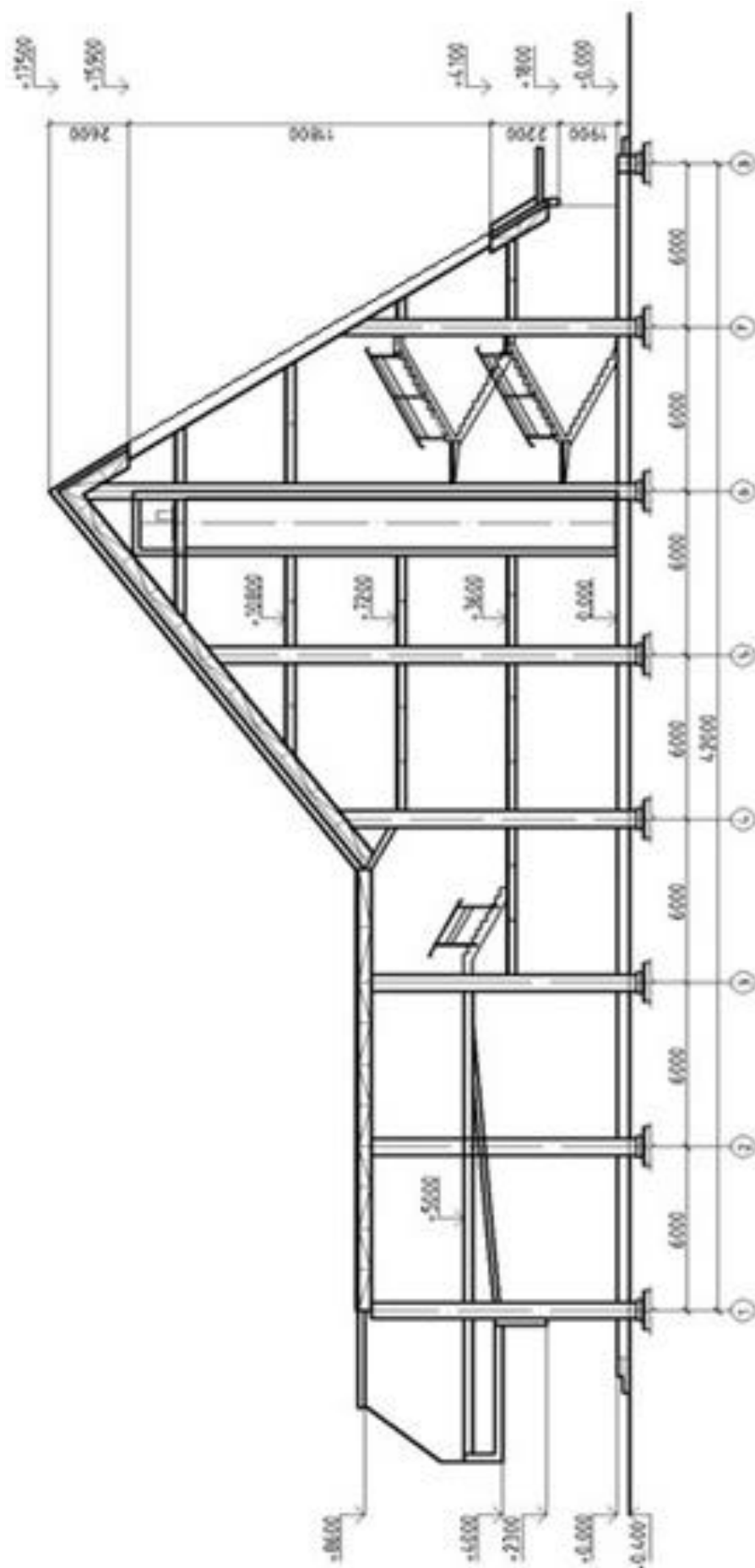


Рис. 4. Разрез

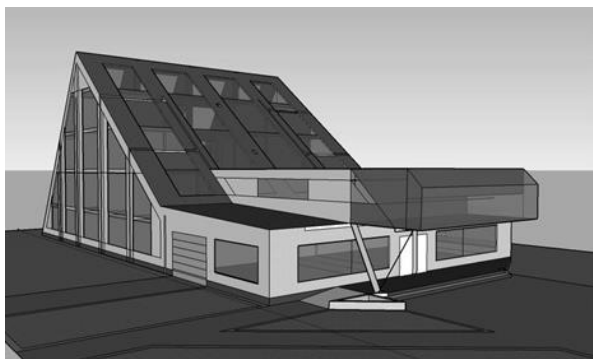


Рис. 5. Общий вид Центра дополнительного образования

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисова Н.В. От традиционного через модульное к традиционному образованию.
2. Антоненко С.А. «Дополнительное» не менее важное, чем «основное» // Качество образования. 2013. № 2. С. 34 – 37.
3. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий и сооружений: Метод. указ. / Сост. О.В. Матехина, Ю.К. Осипов. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. – 62 с.
4. Осипов Ю.К. Инфраструктура и функциональное наполнение общеобразовательной школы нового типа // Вестник СибГИУ. 2016. № 1 (15). С. 28 – 31.

© 2017 г. Ю.К. Осипов

Поступила 30 апреля 2017 г.

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 669.184

Е.П. Волынкина

Сибирский государственный индустриальный университет

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ
В РОССИИ**

В России ежегодно образуется свыше 5 млрд. т отходов (в 2014 г. – 5,17 млрд.т; в 2015 г. – 5,06 млрд.т) [1, 2]. Образование твердых коммунальных отходов (ТКО) в России оценивается в 67,4 млн.т, что составляет незначительную долю (1,3 %) в общем объеме отходов. Таким образом, около 99 % – это отходы производства, которые часто называют техногенными.

Техногенные отходы накапливаются в результате деятельности всех секторов экономики, однако наибольшие их объемы образуются в результате добычи и первичной обработки природных ресурсов (рис. 1). В России суммарная доля таких отходов составляет 97 %, в том числе отходы добычи полезных ископаемых – 92 % (4,6 млрд.т), отходы обрабатывающих производств – около 5 % (283 млн.т). Оставшиеся 3 % отходов распределяются между сельским хозяйством (46 млн.т), производством и распределением энергии, газа и воды (26 млн.т), строительством (17 млн.т) и прочими видами экономической деятельности (35 млн.т).

Основными отходообразующими отраслями экономики являются: угольная промышленность, образующая 56 % (2,8 млрд.т) отходов, включая добычу, обогащение и агломерацию угля; черная металлургия – 11 % (535 млн.т), включая добычу, обогащение и переработку железных руд; цветная металлургия – 15 % (740 млн.т), включая добычу, обогащение и переработку руд цветных металлов; добыча урановой и ториевой руд – 5 % (235 млн.т); добыча прочих полезных ископаемых – 9 % (410 млн.т); менее 1 % от общего количества отходов образуют сельское и лесное хозяйство (46 млн.т), химическая промышленность (15 млн.т), производство неметаллических минеральных продуктов (13 млн.т), теплоэнергетика (20 млн.т).

Лидером по количеству образующихся отходов среди субъектов РФ является Кемеровская область, что обусловлено преобладанием в экономике региона горнодобывающей отрасли – 2,6 млрд.т в 2014 г. и 2,3 млрд.т в 2015 г., что составляет 45 – 50 % от общего количества отходов в РФ. Остальные субъекты РФ характеризуются значительно меньшим образованием отходов, млн.т/год (рис.2):

- Забайкальский край – 372,5 (7,4 %);
- Красноярский край – 371,2 (7,3 %);

- Республика Хакасия – 221 (4,4 %);
- Свердловская область – 179,5 (3,5 %);
- Иркутская область – 119,9 (2,4 %);
- Челябинская область – 90 (1,8 %);
- Республика Бурятия – 50,2 (1,0 %);
- прочие регионы – менее 1 %.

По данным Росприроднадзора в регионах России используются или обезвреживаются от 20 до 67 % образующихся отходов, т.е. от 33 до 80 % образующихся отходов направляются на размещение. В целом ежегодно направляется на размещение свыше 2 млрд.т отходов, в том числе в 2015 г. на территории Сибирского ФО размещено 1,4 млрд.т, Северо-Западного ФО – 231 млн.т, Уральского ФО – 208 млн.т, Дальневосточного ФО – 188 млн.т, Центрального ФО – 163 млн.т, Приволжского ФО – 110 млн.т.

Ежегодный прирост накопленных отходов по основным видам экономической деятельности составляет, млн.т: добыча, обогащение и агломерация угля – 2068, обрабатывающие производства – 187, производство и распределение энергии 35,5 [3].

Высокий выход и накопление отходов промышленности темпами, значительно превосходящими рост объемов производства в стране, относятся к числу важнейших экономических проблем.

При самых совершенных технологиях предотвратить возникновение отходов невозможно. Однако высокий уровень их образования является следствием неэффективного использования в производственной деятельности природных ресурсов. Образование отходов приводит к потере материалов и энергии, а также к дополнительным экономическим издержкам для общества в связи со сбором, транспортированием, переработкой и захоронением.

Опыт развитых государств показал, что человечество может успешно развиваться, значительно сократив потребление природных ресурсов на единицу продукции. Известно, что ресурсоемкость единицы ВВП в России в 2 – 3 раза выше, чем в развитых странах. Это означает, что для производства 1 т продукции в России вовлекается в 2 – 3 раза больше природных ресурсов при соответствующем увеличении образования отходов [4, 5].

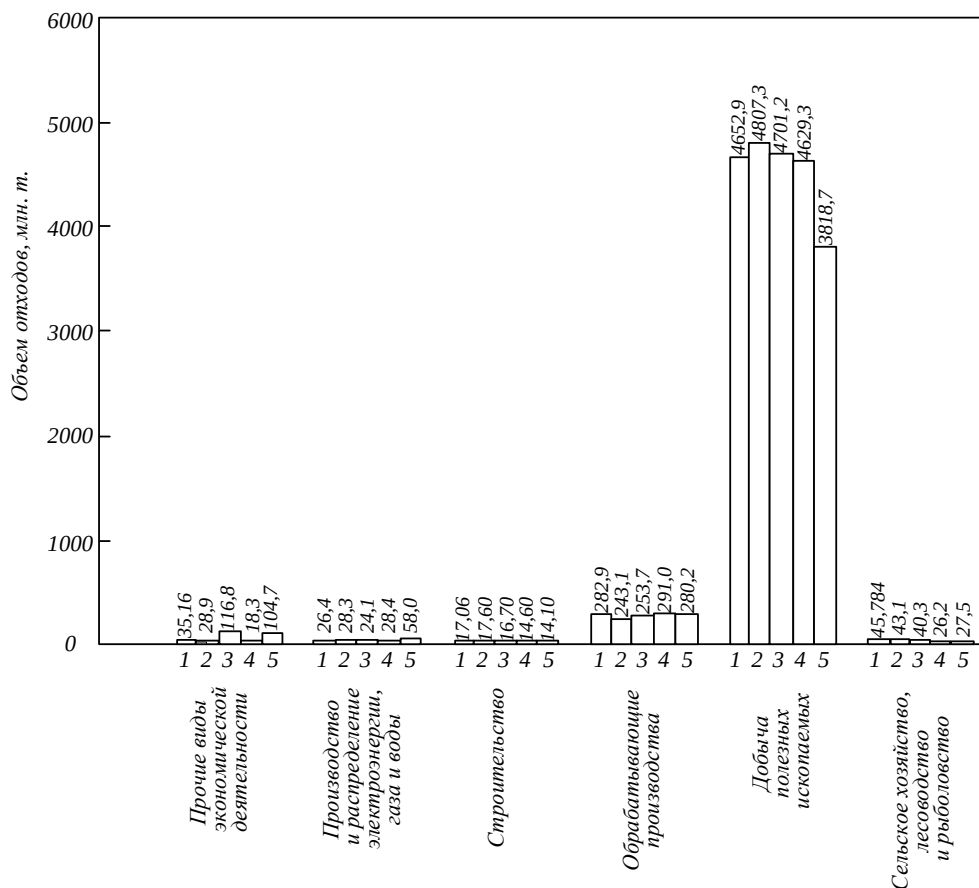


Рис. 1. Объемы образования отходов в РФ по видам ОКВЭД, млн.т.:
1 – 5 соответствуют годам 2015 – 2011

В 2015 г. черная металлургия в России образовала в целом 535 млн.т твердых отходов [1], включая добычу, обогащение и переработку железных руд, что при производстве стали в России 70,7 млн.т в год составляет около 8 т/т стали, то есть в 8 раз превышает выпуск основной продукции. При добыче угля открытым способом образование вскрышных и вмещающих пород составляет 10 – 11 т на 1 т добываемого угля.

Количество отходов на единицу ВВП на душу населения отражает связь между образованием отходов и экономической активностью на душу населения. Образование отходов на душу населения в странах ЕС составляет в среднем 6 т на душу населения [6], или 160 кг на единицу ВВП на душу населения, а в России 34,5 т на душу населения, или 2 487 кг на единицу ВВП на душу населения в 2014 г. и 3 810 кг в 2015 г. Приведенные цифры свидетельствуют о несоразмерном соотношении образования отходов и экономической активности населения в странах ЕС и России. Поэтому снижение образования отходов является не только первоочередной задачей промышленного бизнеса, но и важной общегосударственной задачей.

Другой важной государственной задачей является создание отходоперерабатывающей отрасли,

обеспечивающей эффективную переработку образующихся и накопленных отходов и, прежде всего, отходов промышленности, представляющих собой ее сырьевой потенциал.

Если образующиеся в настоящее время на промышленных предприятиях отходы производства в каком-то количестве подвергаются утилизации, то отходы, образовавшиеся до 1993 г., остаются лежать на поверхности, формируя техногенные массивы. Общее количество накопленных отходов в целом по России оценивается в 100 млрд.т. Общая площадь земель, занятых отходами, превышает 2000 тыс. км² [7]. Из них более 0,6 тыс. км² занято шламонакопителями и хвостохранилищами, более 1 тыс. км² – отвалами, терриконами, золо- и шлакоотвалами. Ежегодно площадь отчуждаемых земель увеличивается не менее чем на 85 – 90 км² [8].

Среди отраслей основными по количеству накопленных отходов являются угольная, черная металлургия, цветная металлургия [9].

Общий объем накопленных на Урале отходов промышленности оценивают в 9 млрд.т, в том числе:

- отвалы вскрышных (вмещающих) пород, некондиционных руд, шламов рудничных вод – 95 объектов с общим объемом отходов 6,3 млрд.т;

- отвалы отходов обогащения – 31 объект с объемом отвалов 1,7 млрд.т;
- шламохранилища и шлакоотвалы металлургического производства – 37 объектов с объемом отходов 232,7 млн.т;
- золо- и шлакоотвалы – 15 объектов с общим объемом 210,8 млн.т;
- отходы химического производства (фторофосфогипсы, огарки, шламы химического производства) – 10 объектов с объемом отходов 43,9 млн.т [10].

На территории Кемеровской области зарегистрировано 379 объектов размещения отходов, в том числе 359 объектов размещения отходов промышленности. Отходы черной металлургии сосредоточены в 44 породных отвалах объемом 320 млн. м³, в 18 отвалах сухой магнитной сепарации (83,5 млн. м³), в отвалах мокрой магнитной сепарации Абагурской и Мундыбашской агломерационно-обогащительных фабрик (более 200 млн. т), в шлаковых отвалах металлургических комбинатов – свыше 100 млн.т доменных и сталеплавильных шлаков, свыше 250 млн.т золо- и шлаковых отходов размещено в отвалах и шламонакопителях теплоэнергетических предприятий, в отвалах углеобогащительных фабрик накоплено свыше 450 млн.т отходов обогащения углей (рис. 3) [11, 12]. Общие запасы накопленных отходов, имеющих потенциал для переработки, на территории Кемеровской области превышают 1 млрд.т.

В Центрально-Черноземном районе основными объектами накопления техногенных отходов черной металлургии являются бассейн КМА, отвалы и шламонакопители Ново-Липецкого металлургического комбината (НЛМК) и ОАО «Северсталь» [3]. В хвостохранилищах Ковдорского горно-обогащительного комбината накоплено свыше 250 млн.т отходов, содержащих апатит, нефелин, сфен, титаномagnetит, форстерит и другие минералы. Дополнительными источниками благородных и цветных металлов могут стать заскладированные хвосты обогащения сульфидных медно-никелевых руд; «лежалые» пирротиновые концентраты; заскладированные магнетитовые концентраты; шлакопылевые отвалы. По оценкам 2001 г. на золоотвалах угольных теплоэлектростанций страны было заскладировано более 1,5 млрд. т золошлаковых отходов.

Таким образом, в объектах размещения отходов промышленности сосредоточены колоссальные объемы выведенных из хозяйственного оборота различных видов сырья, сконцентрированного на сравнительно небольших и более доступных для разработки площадях по сравнению с природными месторождениями. По запасам и содержанию полезных компонентов многие из таких объектов могут быть отнесены к техногенным месторождениям.

Техногенные месторождения являются важным источником многих видов минерального сырья. Суммарное содержание полезных компонентов, накапливающихся за десятки лет в техногенных месторождениях, сопоставимо, а иногда и превышает их количество в ежегодно добываемых рудах.

Например, содержание железа в отходах черной металлургии нередко превышает 30 %, что позволяет считать их полноценным вторичным железорудным сырьем, которое может быть подвергнуто обогащению для получения железорудного концентрата. Кроме того, некоторые виды металлургических отходов не нуждаются даже в обогащении и могут быть приравнены к рудным концентратам. Накопленные техногенные отходы также могут служить сырьем для производства продукции для промышленности строительных материалов и дорожного строительства, химической отрасли, сельского хозяйства, цветной металлургии, для получения драгоценных и редкоземельных металлов.

В развитых и развивающихся странах до 80 % нерудных строительных материалов производится из вскрышных пород. Из отвалов окисленных медных руд и хвостов обогащения извлекается и потребляется промышленностью до 20 % меди (в США свыше 30 %) [13]. Значительными возможностями по переработке различных видов отходов и продуктов их переработки обладают предприятия черной металлургии: от металлолома и отходов смежных отраслей до автомобильных покрышек. Широкий спектр отходов и продуктов их переработки направляется в цементную промышленность, а в старнах ЕС технология производства цемента с использованием отходов входит в перечень наилучших доступных технологий.

Техногенные образования по количеству и качеству содержащегося минерального сырья пригодные для эффективного использования в сфере материального производства, называют техногенными месторождениями. Однако не все объекты размещения отходов могут быть отнесены к категории техногенных месторождений. Для принятия стратегического решения о переработке того или иного техногенного месторождения и оценки технико-экономической целесообразности необходимо выполнить его прогнозную технологическую оценку, включающую исследование состава и свойств техногенного сырья и выявление оптимальных способов его обогащения и переработки с получением кондиционной и востребованной продукции. Необходимо отметить, что до настоящего времени в России отсутствует идентификация объектов размещения промышленных отходов как техногенных месторождений, не создано методологии исследования техногенных месторождений, каждое из которых имеет свою специфику.



Рис. 2. Образование отходов в основных отходообразующих регионах РФ, млн.т/год

Другой важной проблемой развития переработки техногенных отходов является отсутствие стандартов и методов оценки качества техногенного сырья и вторичной продукции на его основе, в том числе их экологической безопасности. Можно отметить лишь наличие ряда устаревших ГОСТов для строительной отрасли, например 25818 – 91 «Золы уноса тепловых электростанций для бетонов», 10178 – 85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия», 25592 – 91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия», 26644 – 85 «Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетонов», 3344 – 83 «Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства», 5578 – 94 «Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов», 25137 – 82 «Материалы нерудные строительные, щебень и песок плотные из отходов промышленности, заполнители для бетона пористые. Классификация», а также разработанную в 2010 – 2013 гг. серию ГОСТов «Топливо твердое из бытовых отходов», методы определения зольности, гранулометрического состава, выхода летучих веществ, насыпной плотности и т.д.

В настоящее время в РФ в сфере переработки отходов развивается, главным образом, бизнес по переработке отходов упаковки (картон, бумага, полиэтилен, ПЭТ). Переработка техногенных отходов требует разработки новых нетрадиционных технологий и оборудования, является значительно более затратной в плане капитальных и эксплуатационных вложений с длительными сроками окупаемости, характеризуется высокой степенью риска. Ключевыми потребителями техногенного сырья и вторичной продукции на основе отходов промышленности являются: металлургия, тепло-

энергетика, строительная индустрия, цементная промышленность. Для обеспечения потребления создаваемых видов новой продукции на основе отходов в этих отраслях должны быть проведены опытно-технологические испытания, разработаны регламенты технологических процессов, требования к качеству используемого техногенного сырья и материалов.

В России в наибольшей степени переработка техногенных отходов развивается в Кемеровской области – основном отходообразующем регионе России, где отходоперерабатывающие предприятия с 2009 г. объединены в Кузбасскую Ассоциацию переработчиков отходов. Благодаря инициативе отходопереработчиков и существующей в регионе административной поддержке переработка отходов развивается от сортировки и переработки коммунальных отходов в 2009 – 2013 гг. к созданию новых производств по переработке техногенных отходов в 2014 – 2016 гг. В целом участниками Кузбасской Ассоциации переработчиков отходов созданы производственные мощности по переработке свыше 3 млн. т отходов ежегодно. Общие инвестиции в отрасль составляют более 1,5 млрд. руб. Практически все реализуемые технологии по переработке техногенных отходов являются инновационными.

В настоящее время в регионе вовлекаются в переработку накопленные отходы огнеупоров, коксохимической промышленности, металлургические шлаки, золоунос ТЭС, отходы углеобогащения.

Предприятия ООО «СМЦ» и ООО «ОгнеупорЭКО» реализуют проекты по переработке отходов огнеупоров, накопленных в результате прошлой хозяйственной деятельности Западно-Сибирского металлургического комбината, с по-

лучением различных видов огнеупорной продукции. Ежегодно подвергается переработке около 50 тыс.т отходов.

Предприятие ООО «ЭКОМАШ» осуществляет переработку жидких отходов каменноугольной смолы коксохимического производства, образованных в результате прошлой хозяйственной деятельности Кузнецкого металлургического комбината и накопленных на территории города Новокузнецка. Примерное количество накопленных отходов составляет около 350 тыс. т. В настоящее время предприятие перерабатывает 25 тыс.т отходов в год, производя на их основе шпалопропиточное масло.

ООО «Технологии рециклинга» реализует проект по глубокой переработке шлаковых отвалов с получением многопрофильной продукции, в рамках которого создается технологический комплекс мощностью более 100 тыс.т в год, на котором будут переработаны накопленные металлургические шлаки на территории шлакового отвала Кузнецкого металлургического комбината площадью 178 га. Общий объем складированных на территории отвала шлаков составляет более 10 млн.т. В процессе переработки будет производиться семь видов товарной продукции: железосодержащий концентрат двух марок, шлакометаллический скрап двух сортов, металлолом, щебень и песок для дорожного строительства, а также инертный материал, который будет использован для последующей рекультивации отвала.

ООО «Химкрекинг» реализует инновационный проект по созданию производственного комплекса для переработки отходов коксохимических и углеобогатительных производств, который запускается в 2017 г. Проектная мощность комплекса составляет 162 тыс.т. Производимая продукция: каменноугольное масло, топливные брикеты, сорбенты. В рамках проекта будет выполнена полная ликвидация, переработка и последующая техническая и биологическая рекультивация «смоляного озера» на территории Заводского района площадью 3,6 га, ранее использовавшегося под размещение жидких отходов коксохимического производства.

Однако переработчики техногенных отходов работают в невероятно сложных условиях. Типичными проблемами, с которыми они сталкиваются, являются:

1) отказ собственника техногенных отходов передавать их переработчику или значительное увеличение цены после вложения переработчиком инвестиций и запуска производственных мощностей;

2) незаинтересованность потребителя приобретать производимую на основе техногенных отходов продукцию;

3) увеличение затрат вследствие возникновения обязанности осуществлять платежи за негативное воздействие отходов, накопленных в результате прошлой хозяйственной деятельности крупных промышленных предприятий;

4) непомерно высокий земельный налог за объекты размещения накопленных отходов;

5) претензии органов государственного надзора вследствие возникновения новых источников загрязнения окружающей среды в результате производственной деятельности отходоперерабатывающего предприятия;

6) непредвиденное увеличение производственных затрат и себестоимости продукции вследствие недостаточной отработанности технологического процесса и отсутствия пилотных опытно-промышленных образцов отходоперерабатывающих установок;

7) отсутствие современного, соответствующего мировому уровню, недорогого отечественного оборудования для переработки отходов промышленности (обогащение, обезвоживание, прессование, гранулирование и т.д.).

Указанные проблемы приводили к приостановке или даже прекращению реализации проектов после нескольких лет работы.

Но главным препятствием на пути развития переработки техногенных отходов является отсутствие реальной государственной поддержки.

Необходимо отметить, что, начиная с 2015 г., в России происходит кардинальное реформирование системы обращения с отходами, целью которого объявлено стимулирование переработки отходов и создание в стране отходоперерабатывающей отрасли. В настоящее время законодательно введены новые требования в отношении обращения с отходами от использования потребительских товаров: бумага, текстиль, шины, пластмассы, изделия из стекла, дерева, аккумуляторы, электронная техника и электрооборудование и др. Федеральным законом ФЗ-89 «Об отходах производства и потребления» с 2015 г. введена ответственность производителей и импортеров товаров, которые обязаны обеспечивать утилизацию отходов от использования этих товаров в соответствии с нормативами утилизации, установленными Правительством Российской Федерации. В отношении этих категорий товаров введен экологический сбор, утверждены нормативы утилизации и ставки экологического сбора по каждой категории товаров. С 01 января 2017 г. захоронение ряда отходов, в состав которых входят полезные компоненты, подлежащие утилизации, запрещается.

Аналогичные механизмы государственного регулирования необходимы и для стимулирования переработки техногенных отходов.

В настоящее время природоохранное законода-

тельство в России содержит целый ряд мер, стимулирующих захоронение техногенных отходов, а не их переработку. Наряду с низкими ставками платежей за негативное воздействие отходов при их размещении используется целый ряд понижающих коэффициентов – от 0,67 до нуля. Кроме этого, в регионах применяют дополнительные стимулирующие меры для объектов захоронения отходов, например, льготы по арендной плате земель под полигонами в виде понижающих коэффициентов – до 0,00004. Такая государственная система стимулирует захоронение отходов, которое является самым дешевым и выгодным для бизнеса способом их утилизации.

По этой причине собственники промышленных предприятий не заинтересованы в переработке образующихся отходов, а в случае поступления соответствующих предложений от отходоперерабатывающих предприятий устанавливают на отходы цену, что делает инвестиционные проекты по их переработке нерентабельными. Для решения этой проблемы необходимо законодательно ввести ответственность производителя промышленных отходов за обеспечение их утилизации, постепенное запрещение захоронения отходов производства при условии наличия или появления в регионе технической возможности переработки, ограничить использование природных ресурсов в регионах при наличии техногенных заменителей, ввести льготы по земельному налогу и арендной плате за землю для предприятий, перерабатывающих накопленные отходы, создать систему принятия гарантийных обязательств промышленных предприятий по использованию техногенного сырья и продукции на основе отходов смежных отраслей.

Необходимо разработать систему стандартов по требованиям к качеству и методам оценки качества техногенного сырья и продукции на его основе, по проектированию разработки и освоения техногенных месторождений, а также методологию оценки объектов размещения отходов как техногенных месторождений.

Выводы. Для создания конкурентоспособной отечественной промышленности переработки отходов производства и, прежде всего, накопленных отходов производства от прошлой хозяйственной деятельности угольных, горнорудных, металлургических и теплоэнергетических предприятий, требуется создание опытных производств и типовых производственно-технических комплексов. Опытные производства необходимы для отработки технологий и разработки научно-технической и проектной документации, а также проведения регистрационных и сертификационных процедур. Необходима система государственного субсидирования опытных производств и типовых производственно-технологических комплексов по переработке

работке накопленных отходов промышленности, финансирования опытно-технологических испытаний, созданных на основе отходов инновационных видов продукции. В условиях необходимости диверсификации экономики промышленных городов в России, в большинстве случаев базирующейся на угледобывающей и металлургической отраслях промышленности, развитие переработки техногенных отходов может стать одним из перспективных направлений их развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственные доклады об охране и о состоянии окружающей среды Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101>. (Дата обращения 28.02.2017 г.).
2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2015 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2016/03/DOKLAD_2015.pdf. (Дата обращения 28.02.2017 г.).
3. Грановская Н.В., Наставкин А.В., Мещанинов Ф.В. Техногенные месторождения полезных ископаемых: Учебн. пособие. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2013. – 93 с.
4. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 469 с.
5. Металлургические технологии переработки техногенных месторождений, промышленных и бытовых отходов / С.Н. Кузнецов, Е.П. Волынкина, Е.В. Протопопов, В.Н. Зоря. – Новосибирск: изд. СО РАН, 2014. – 294 с.
6. EC, Review of Waste Policy and Legislation, Review of Waste Policy and Legislation, accessed 6 March 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://ec.europa.eu/environment/waste/target_review.htm. (Дата обращения 28.02.2017 г.).
7. Худякова Л.И., Войлошников О.В., Тимофеева С.С. Магнийсиликатные породы горнодобывающей промышленности и технологии их утилизации. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. – 177 с.
8. Комаров М.А., Алискеров В.А., Кусевич В.И., Заверткин В.Л. Горно-промышленные отходы – дополнительный источник минерального сырья // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 4. С. 3 – 9.
9. Боков В.Г., Заверткин В.Л., Лазарев В.Н. Богатство в отвалах (проблемы утилизации горно-промышленных отходов в России) // Центр. 1994. № 8 – 9. С. 12 – 14.

10. Мормилъ С.И., Сальникова В.Л., Амосов Л.А., Хасанова Г.Г., Семячков А.И., Зобнин Б.Б., Бурмистренко А.В. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / Под ред. Ю.А. Боровкова. – Екатеринбург: НИИ-Природа, ДПР по Уральскому региону, АОТ «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Геологическое предприятие «Девон», 2002. – 206 с.
11. Волынкина Е.П., Зоря В.Н. Исследование способов обогащения отходов шламонакопителя ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 60 – 64.
12. Гладких И.В., Волынкина Е.П. Техногенные сырьевые ресурсы Кемеровской области для производства огнеупорных и теплоизоляционных материалов : Сб. докл. междунар. экологического форума «Природные ресурсы Сибири и Дальнего Востока – взгляд в будущее», Кемерово 19-21 ноября 2013 г. – Кемерово: Книжное издательство, 2013. С. 145 – 154.
13. Мюррей Р. Цель – Zero Waste / Пер. с англ. В. О. Горницкого. – М. : Совет Гринпис, 2004. – 232 с.

© 2017 г. Е.П. Волынкина
Поступила 2 марта 2017 г.



Рис. 3. Объекты размещения техногенных отходов в Кемеровской области:
а – хвостохранилище Абагурской ОАФ; б – шламонакопитель ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»; в – отвал отходов коксохимического производства; г – флотовостохранилище отходов углеобогащения ЦОФ «Абашевская»

Л.Б. Павлович, К.А. Дятлова

Сибирский государственный индустриальный университет

**КАТАЛИЗАТОРЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ УГЛЕВОДОРОДОВ И
ОКСИДА УГЛЕРОДА (II)**

В настоящее время перед металлургией остро стоят вопросы сбережения энергии, сырья и материалов. В полной мере назрела и проблема использования техногенного сырья – отходов собственного производства, значительную часть которых составляют металлургические шлаки, тем более, что больше половины потребляемого в металлургии сырья превращается в отходы [1].

Газообразные выбросы в металлургии составляют 85,4 % от общего количества удельных выбросов вредных веществ. Практически газообразные выбросы не очищаются, что связано с их характерными особенностями. Газообразные выбросы черной металлургии характеризуются запыленностью, значительными объемами, низкой концентрацией загрязняющих веществ и многообразием их состава, наличием полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе смолистых канцерогенных веществ (бенз[а]пирена (БП)), органических галогенов (диоксидов), наличием серо- и азотсодержащих соединений [1 – 5]. Исследования показали, что такие газообразные промышленные выбросы целесообразно обезвреживать каталитическим методом [6 – 8].

Однако развитие каталитических методов очистки выбросов в металлургии сдерживает отсутствие дешевых, доступных, термически и механически прочных катализаторов, устойчивых к воздействию контактных ядов в металлургических выбросах.

Поставленные задачи могут быть решены путем использования в качестве катализаторов глубокого окисления выбросов металлургического производства техногенного сырья – металлургических шлаков, а также путем разработки энерго- и металлосберегающих технологических процессов очистки выбросов. Применение таких технологий способно снизить вредное воздействие металлургических производств на окружающую среду. В настоящее время в металлургии разработаны и используются технологии очистки глубоким каталитическим окислением выбросов в атмосферу от агломерационного, огнеупорного, коксохимического производств. В частности, для коксо-

химического производства (КХП) разработана очистка от канцерогенных веществ, в том числе бенз[а]пирена; используются системы очистки выбросов смолоперерабатывающего, пекококсового цехов, цехов улавливания химических продуктов коксования, установок сухого тушения кокса (УСТК). В доперестроечный период были приняты в промышленную эксплуатацию термокatalитические установки в огнеупорном цехе Донецкого металлургического комбината, в цехе обжига смолотомитовых огнеупоров Кондратьевского огнеупорного завода, установка пекоподготовки пекококсового цеха Череповецкого металлургического комбината [4]. На НПО «Энергосталь» выполнены рабочие проекты каталитической очистки выбросов смолоперерабатывающего цеха Алтайского коксохимического завода, очистки запыленных выбросов УСТК ОАО «ЗСМК» [4]. Разработаны реакторы каталитического окисления и серия катализаторов на базе различных типов отвальных и передельных металлургических шлаков [8].

Целью настоящей работы являются исследование каталитической активности кобальтового и медно-кобальтового катализаторов глубокого окисления, синтезированных на базе техногенных отходов – конвертерного металлургического шлака, определение оптимального химического состава катализаторов в реакциях глубокого окисления оксида углерода (II), о-ксилола, β-метилнафталина.

В настоящее время известны и применяются различные катализаторы. Одним из них является шлаковый катализатор [9], полученный промотированием передельных (ванадиевого, феррохромового) шлаков черной металлургии одним из оксидов кобальта или никеля в количестве 2 – 5 % (по массе). Недостатком такого катализатора является высокая стоимость шлаков.

Также известен катализатор [10] очистки кислородсодержащих выбросов от органических веществ и оксида углерода (II) на основе конвертерного ванадиевого или конвертерного феррохромового шлака – отходов производства среднеуглеродистого феррохрома, обра-

ботанный содержащим 6 – 12 % оксида кобальта водным раствором щавелевой кислоты при температуре 20 – 80 °С в течение 5 – 50 ч при соотношении количеств кислота:шлак (0,06 ÷ 0,60) : 1. Степень окисления оксида углерода (II) достигает при этом 90 – 100 % при объемной скорости 30 тыс. ч⁻¹ в интервале температур 200 – 290 °С; степень окисления β-метилнафталина составляет 96,7 – 100 % при объемной скорости 10 тыс. ч⁻¹ в интервале температур 380 – 430 °С. Однако этим катализаторам присущи недостатки: ограниченность ресурсов; высокая стоимость ванадиевого и конвертерного феррохромового шлаков, полностью перерабатываемых в металлургической промышленности.

В настоящей работе предлагается синтезировать кобальтовый или медно-кобальтовый катализатор на базе рядового отвалного конвертерного шлака. Выбор шлака обусловлен его доступностью и дешевизной. Согласно петрографическому анализу конвертерный шлак представлен в основном 2CaO·SiO₂ в форме крупных выделений, в шлаке присутствует кальциевостит CaO·FeO, обнаруживается фаза, представляющая собой твердые растворы перикломанганозита MgO·MnO и магнезиовостита MgO·FeO [8]. Конвертерный шлак ОАО «ЗСМК» имеет следующий химический состав: 5,2 % MnO; 20,1 % FeO; 0,6 % Cr₂O₃; 1,2 % TiO; 3,8 % Al₂O₃; 44,9 % CaO; 15,0 % SiO₂; 2,6 % P₂O₅; 0,1 % S; 4,1 % MgO (по массе). Содержание каталитически активных компонентов (MnO, FeO, Cr₂O₃, TiO) в реакции глубокого окисления выбросов составляет 29,7 % (по массе).

В настоящей работе изучена микроструктура и определен химический состав шлака. В шлаке присутствуют не только химически активные в реакциях глубокого окисления оксиды металлов, но и шпинели сложного минералогического состава.

Оксиды марганца, железа, ванадия, хрома, титана являются общепризнанными катализаторами глубокого окисления, наибольшее (34,2 – 61,9 %) содержание этих оксидов наблюдается в ванадиевом, малофосфористом марганцевом шлаке и шлаке углеродистого ферромарганца [8]. В конвертерном шлаке содержание этих оксидов несколько ниже (29,7 %).

Исследования с помощью оптической микроскопии подтверждают, что шлак имеет довольно развитую поверхность – 0,8 м²/г. Поверхность шлака характеризуется различными нарушениями решетки кристаллов – дислокациями (различными искажениями плоскостей решетки по сравнению с геометрически пра-

вильным положением их в идеальном кристалле). Разнообразные нарушения поверхности шлака должны резко увеличить площадь адсорбционно-активной поверхности, а следовательно, и число адсорбционных и каталитических центров. В связи с этим поверхностный слой шлака может характеризоваться повышенной свободной энергией, неравномерно распределенной по поверхности. Согласно теории активных центров гетерогенного катализа (теории пресыщения, предложенной С.З. Рогинским) все каталитически активные системы обладают повышенной свободной энергией по сравнению с минимальной свободной энергией термодинамически равновесного состояния. Таким образом, конвертерный шлак по своей структуре удовлетворяет условиям, предъявляемым к катализаторам [11].

Шлак имеет неоднородную структуру с крупными порами диам. около 10⁻⁵ – 10⁻⁴ см, такая структура является особенно выгодной для каталитических реакций, протекающих при атмосферном давлении. Механическая прочность шлака составляет 33,7 кг на 1 зерно катализатора, что в 4 – 5 раз превышает механическую прочность оксидных катализаторов. Температура плавления составляет 1100 – 1400 °С. Шлак выдерживает температурные нагрузки без изменения структуры и химического состава.

Результаты анализа фазового состава шлаков позволяют предложить использовать их в качестве катализаторов глубокого окисления выбросов металлургического производства.

Каталитическую активность шлаков определяли в проточных условиях при окислении модельных смесей органических веществ о-ксилола, β-метилнафталина и оксида углерода (II) в воздухе при объемной скорости 5 – 30 тыс. ч⁻¹, концентрации C_{орг} 2,5 – 6,0 г/м³, СО – 0,5 – 1,0 % (по объему), температуре 150 – 700 °С [8].

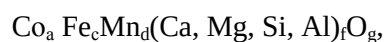
Первым этапом синтеза катализатора на базе шлаков являлась активация его поверхности методом выщелачивания раствором щавелевой кислоты. Процесс выщелачивания проводили при температуре 60 °С в течение 20 ч при периодическом перемешивании; соотношение кислота:шлак составляло 0,2 (по массе). Раствор отделяли от шлака, выпаривали. Остаток после выпаривания прокаливали при 900 °С, анализировали в нем содержание кальция, магния, алюминия, кремния, марганца и железа. В наибольшей степени (до 8 %) в раствор переходил магний; алюминий, марганец, железо растворились в меньшей (до 3,5 – 8 %) степени; количество перешедшего в раствор кальция и кремния не превышало 2,5 %. Удельная

поверхность конвертерного шлака увеличивается при такой обработке до $16,5 \text{ м}^2/\text{г}$ [8]. Затем проводили активацию шлака нанесением оксидов переходных металлов. Промотирование выщелоченного шлака осуществляли растворами $(\text{NO}_3)_2$, $(\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ и $(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$. Смесь нагревали на водяной бане при постоянном перемешивании, выпаривали, сушили в сушильном шкафу при $110 - 130^\circ\text{C}$ в течение 4 ч, прокачивали в муфеле при 550°C в течение 4 ч. Из полученного катализатора на сите с отверстиями $0,5 \text{ мм}$ отсеивали образовавшуюся на поверхности пыль.

В проводимых экспериментах содержание $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ на единицу массы выщелоченного конвертерного шлака изменяли в пределах $2,38 - 37,94 \%$, содержание $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – в пределах $0,98 - 15,76 \%$.

По химическому составу шлака и количеству вводимого промотера (кобальта, меди) рассчитывали химический состав полученного катализатора (см. таблицу).

Полученный расчетным путем состав катализатора соответствует следующей эмпирической системе:



где $a = 0,6 \div 1,9$, $c = 1,1 \div 1,6$, $d = 0,9 \div 1,7$, $f = 16 \div 18$ – содержание каталитически активных компонентов, %; g – количество атомов кислорода, необходимого для образования химических связей со всеми элементами.

Катализатор может дополнительно содержать оксид меди, тогда состав катализатора может соответствовать следующей эмпирической формуле:



здесь $a = 0,4 \div 1,3$, $b = 0,2 \div 0,6$, $c = 1,1 \div 1,6$, $d = 0,8 \div 1,7$, $f = 16 \div 18$.

Катализаторы загружали в кварцевый реактор диам. 15 мм , оборудованный электрообогревом. Процесс окисления проводили при объемной скорости 30 тыс. ч^{-1} [8]; концентрация CO в воздухе составляла 1% (по объему), o-ксилола – 5 г/м^3 . Результаты экспериментов представлены в таблице.

Состав катализатора и температура каталитического окисления оксида углерода (II), o-ксилола и β -метилнафталина при использовании кобальтовых и медно-кобальтовых катализаторов на базе конвертерного шлака

Опыт	Состав катализатора	Содержание, %		Температура полного окисления, $^\circ\text{C}$		
		$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	оксида углерода (II)	o-ксилола	β -метилнафталина
1	$\text{Co}_{0,3} \text{Fe}_{1,2} \text{Mn}_{0,9} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{18} \text{O}_{25}$	7,26	–	340	520	520
2	$\text{Co}_{0,6} \text{Fe}_{1,1} \text{Mn}_{0,9} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{18} \text{O}_{25}$	14,50	–	260	460	450
3	$\text{Co}_{0,3} \text{Fe}_{1,1} \text{Mn}_{0,9} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{18} \text{O}_{25}$	29,0	–	240	430	420
4	$\text{Co}_{1,9} \text{Fe}_{1,0} \text{Mn}_{0,8} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{18} \text{O}_{25}$	43,5	–	240	430	420
5	$\text{Co}_{0,1} \text{Cu}_{0,05} \text{Fe}_{1,7} \text{Mn}_{1,8} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{19} \text{O}_{29}$	2,38	0,98	515	635	420
6	$\text{Co}_{0,2} \text{Cu}_{0,1} \text{Fe}_{1,6} \text{Mn}_{1,7} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{18} \text{O}_{29}$	4,74	1,96	340	510	500
7	$\text{Co}_{0,4} \text{Cu}_{0,2} \text{Fe}_{1,6} \text{Mn}_{1,7} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{18} \text{O}_{29}$	9,48	3,94	265	420	450
8	$\text{Co}_{0,8} \text{Cu}_{0,4} \text{Fe}_{2,5} \text{Mn}_{1,6} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{17} \text{O}_{27}$	18,98	7,88	240	400	400
9	$\text{Co}_{1,4} \text{Cu}_{0,6} \text{Fe}_{1,4} \text{Mn}_{1,6} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{16} \text{O}_{27}$	28,46	11,82	230	390	400
10	$\text{Co}_{1,7} \text{Cu}_{0,7} \text{Fe}_{1,4} \text{Mn}_{1,5} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{15} \text{O}_{26}$	37,94	15,76	230	390	400
11	$\text{Co}_{0,4} \text{Cu}_{0,2} \text{Fe}_{1,2} \text{Mn}_{0,9} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{17} \text{O}_{25}$	9,48	7,88	375	450	450
12	$\text{Co}_{0,8} \text{Cu}_{0,4} \text{Fe}_{1,1} \text{Mn}_{0,9} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{17} \text{O}_{25}$	13,98	7,88	265	440	440
13	$\text{Co}_{1,3} \text{Cu}_{0,6} \text{Fe}_{1,1} \text{Mn}_{0,8} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{16} \text{O}_{25}$	28,46	11,82	255	440	440
14	$\text{Co}_{1,7} \text{Cu}_{0,7} \text{Fe}_{1,8} \text{Mn}_{0,8} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{16} \text{O}_{25}$	37,94	15,76	255	440	420
15	$\text{Co}_{2,2} \text{Cu}_{0,9} \text{Fe}_{1,0} \text{Mn}_{0,7} (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{16} \text{O}_{25}$	37,94	15,76	255	440	420

Лучшие результаты по окислению оксида углерода (II), o-ксилола , β -метилнафталина показал кобальтовый катализатор при промотировании $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в количестве $29,0 \%$. Температура полного окисления CO составля-

ла 240°C , o-ксилола – 430°C , β -метилнафталина – 420°C . Увеличение расхода $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ до $43,5 \%$ на активность катализатора практически не влияло. Оптимальный кобальтовый катализатор на базе конвер-

терного шлака имеет следующий состав: $\text{Co}_{1,3}\text{Fe}_{1,1}\text{Mn}_{0,9}(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{18}\text{O}_{25}$.

Азотнокислый кобальт является дорогим реагентом. Проведены исследования по частичной замене нитрата кобальта (III) на нитрат меди (III). Лучшие результаты получены при подаче $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в количестве 18,98 – 28,46 % и $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ в количестве 7,88 – 11,82 %. Дальнейшее увеличение расхода реагентов существенно на активность катализаторов не влияло. Эксперименты показали, что возможна замена нитрата кобальта (III) на нитрат меди (III) до 30 % (по массе). Оптимальный медно-кобальтовый катализатор на базе конвертерного шлака имеет следующий состав: $\text{Co}_{0,8}\text{Cu}_{0,4}\text{Fe}_{2,5}\text{Mn}_{1,6}(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Si}, \text{Al})_{17}\text{O}_{27}$.

Себестоимость производства предлагаемого катализатора при использовании в качестве носителя отвальных шлаков и замена части оксида кобальта на оксид меди значительно ниже себестоимости известных окисных насыпных катализаторов. Для его производства используются рядовые отвальные конвертерные шлаки, находящие ограниченное квалифицированное применение. Однако такой катализатор обладает идентичной каталитической активностью по сравнению с используемыми в России насыпными катализаторами.

Выводы. Разработан медно-кобальтовый катализатор на базе техногенного сырья – рядового отвального конвертерного шлака. Оптимизирован состав катализаторов для очистки выбросов от оксида углерода (II) и углеводородов. Выведена эмпирическая формула катализатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бюллетень научно-технической и экономической информации. Черная металлургия. 2001. Вып. 9. № 5 – 7.
2. Андоньев С.М., Филиппев О.В. Пылегазовые выбросы предприятия черной металлургии. – М.: Металлургия, 1979. – 122 с.

3. Каленский И.В. Экология горной металлургии: в прошлом, настоящем и будущем // Сталь. 2001. № 6. С. 107 – 111.
4. Павлович Л.Б., Протопопов Е.В., Коротков С.Г. Каталитические процессы очистки выбросов металлургического производства: учеб. пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. – 169 с.
5. Павлович Л.Б., Титова О.О. Экологические проблемы металлургического производства: учеб. пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. – 211 с.
6. Колесников И.М. Катализ и производство катализаторов. – М.: «Техника» ТУМА-ГРУПП, 2004. – 400 с.
7. Носков А.С. Каталитические методы для решения экологических проблем. – В кн.: Труды регионального научно-практического семинара РФФИ «Пути коммерциализации фундаментальных исследований в области химии для обеспечения промышленности». – Казань: УНИПРЕСС, 2002. С. 142.
8. Павлович Л.Б., Павлович С.И. Катализаторы и каталитические процессы глубокого окисления на основе металлургических шлаков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 268 с.
9. А.с. 1057097 СССР. Катализатор для очистки газов от вредных органических веществ / Л.Б. Павлович, Н.А. Морозкина, С.Н. Морозова и др. Заявл. 19.08.1982.
10. А.с. 1684998 СССР. Катализатор очистки кислосодержащих выбросов от органических веществ и оксида углерода / Л.Б. Павлович, Е.А. Золотухин, Е.И. Андрейков, О.П. Сауль; Заявл. 26.10.1988.
11. Рогинский С.З. Гетерогенный катализ. Некоторые вопросы теории. – М.: Наука, 1979. – 416 с.

© 2017 г. Л.Б. Павлович, К.А. Дятлова
Поступила 20 марта 2017 г.

Л.Б. Павлович, Н.А. Шалаева

Сибирский государственный индустриальный университет

**КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ВЫБРОСОВ ВОЗДУШНИКОВ
КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Коксохимические предприятия (КХП) России отличаются неблагоприятной экологической обстановкой, удельные выбросы в атмосферу составляют от 3 до 15 кг/т произведенного кокса [1]. Газообразные выбросы коксохимии отличаются запыленностью, значительными объемами отходящих газов, многочисленностью источников, многообразием состава загрязняющих веществ, наличием полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе канцерогенных веществ (в частности, бенз[а]пирена). Ранее считалось, что в коксохимической отрасли целесообразно очищать только выбросы пекового парка и установок окисления пека, но не выбросы воздушников емкостного оборудования смолоперерабатывающих цехов (СПЦ) и цехов химулавливания (ЦХУ). В настоящее время разработан ряд технологий каталитической и термической очистки выбросов производства пека [2 – 5]. Для оценки степени опасности производства все чаще используется расчет экологических рисков – прогнозируемый ущерб экосистеме в результате наступления события, влекущего за собой негативное воздействие источника экоопасности.

Анализ экологического риска выбросов воздушников емкостного оборудования СПЦ без учета выбросов установки окисления пека показал, что экологический риск составляет 0,9998 при установленном приемлемом уровне для неканцерогенных веществ 0,02. Допустимый уровень превышает в 49,9 раз. Канцерогенный риск составляет 0,963, что превышает допустимый уровень в 963 раза. По ЦХУ канцерогенный риск превышает допустимый уровень в 2,28 раза [6, 7]. Таким образом, наглядно показана необходимость обезвреживания выбросов воздушников емкостного оборудования СПЦ и ЦХУ. Эта проблема является актуальной задачей.

Существует три пути решения проблемы обезвреживания выбросов емкостного оборудования СПЦ: сбор выбросов в коллекторную систему с подачей в линию прямого коксового газа [8 – 11], термическое дожигание, каталитическое дожигание [12, 13]. Наиболее про-

стой и доступный способ обезвреживания выбросов коксохимического производства – это подача их в линию прямого коксового газа для очистки в цехах улавливания (на 50 %) и дальнейшего сжигание в коксовых цехах, доменном или прокатном производствах для использования их в смеси с коксовым газом как топлива. Однако таким образом канцерогенные вещества (бенз[а]пирен и другие ПАУ) распространяются на весь металлургический комбинат; увеличиваются выбросы канцерогенных веществ от других производств.

Удалить канцерогенные вещества, в частности, бенз[а]пирен, термическим окислением при температурах 600 – 1200 °С не представляется возможным. Наличие бенз[а]пирена отмечается в продуктах сгорания даже природного газа. Установлено, что для уничтожения бенз[а]пирена необходима температура порядка 1500 – 1700 °С [12], что требует дополнительного расхода топлива в специальных топочных устройствах. Недостатком термического обезвреживания отходящих газов является также повышенное образование оксидов азота из O_2 и N_2 в процессе горения топлива.

Для обезвреживания выбросов, содержащих органические соединения, наиболее рациональным является метод каталитического окисления, которое протекает при сравнительно низких (300 – 550 °С) температурах. Этот метод более экономичный, чем термическое сжигание. При этом возможно эффективно проводить процесс при малых концентрациях удаляемых примесей и достигать высокой (98 – 100 %) степени обезвреживания. Процесс осуществляется по непрерывной схеме, обеспечивает стабильную очистку в течение длительного времени и может быть полностью автоматизирован [13 – 15].

С целью предотвращения выбросов ПАУ, в том числе бенз[а]пирена, в атмосферу в СибГИУ разработаны технологии высокотемпературной каталитической очистки выбросов ряда цехов КХП АО «ЕВРАЗ ЗСМК»: смолоперерабатывающего, пекового парка (ПП) СПЦ, отделения кристаллизации нафталиновой фракции (ОКНФ) СПЦ, цеха химулавливания, цеха

фталевого ангидрида (ЦФА), установки сухого тушения кокса (УСТК) в стационарном и кипящем слое катализатора, отделения дистилляции смолы (ОДС), выбросов воздушников, склада смолы и склада масел цеха переработки каменноугольной смолы ЦХУ. В этих проектах использованы доступные в металлургическом производстве шлаковые катализаторы [14, 17, 18].

Цель настоящей работы – разработать технологию термokatалитической очистки выбросов воздушников емкостного оборудования цехов улавливания и переработки химических продуктов коксования.

Для каталитической очистки выбросов воздушников емкостного оборудования взяты источники выбросов с наиболее высоким экологическим риском: отделения СПЦ (склад смолы, склад масел, дистилляции, пековый парк) и отделения очистки коксового газа ЦХУ. Выбросы установки окисления пека без очистки подаются в трубопровод прямого коксового газа.

Предлагается следующая схема. Для сбора выбросов и их транспортировки до установки каталитической очистки устанавливается коллекторная система (КС). Емкости и технологические узлы подключаются к КС подгруппами. Подгруппа состоит из емкостей, хранящих одинаковые продукты. Воздушники всех аппаратов «заглушаются» от соединения с атмосферой. Каждая подгруппа аппаратов объединяется общим (уравнительным) коллектором для выравнивания давлений внутри аппаратов. Подгруппа аппаратов сборным коллектором объединяется в группу. Выделенные группы соответствуют отделениям цеха [10, 11, 15].

В связи с низким экологическим риском от выбросов емкостного оборудования отделения переработки нафталиновой фракции предлагается не подвергать их каталитической очистке. На хранилище нафталина установить обогреваемые воздушники длиной порядка 15 м. На каталитическую очистку направить вентиляционные выбросы ОКНФ (взамен дутьевого воздуха) на горелки контактного аппарата и непосредственно в контактный аппарат в зону катализатора для поддержания коэффициента расхода воздуха $\alpha = 5 \div 6$, что необходимо для глубокого окисления бенз[а]пирена [3].

Движущей силой при перемещении парогазовых выбросов воздушников по КС является разрежение, создаваемое дымососами установки каталитической очистки. Разрежение в центральном коллекторе с учетом потерь на всех участках трубопроводов составит примерно $-2,45 \div -2,94$ кПа. К каждой работающей под

давлением подгруппе аппаратов необходимо подводить технический азот для компенсации недостатка собственных паров продуктов в емкости. Состав паровых выбросов воздушников определяется составом и температурой жидкости, над которой собираются пары, то есть составом жидкости в емкости. Химические продукты коксования (каменноугольная смола, фракции смолы, пека и другие) содержат до 100 компонентов и все они могут присутствовать в выбросах воздушников емкостного оборудования. Однако нет реальной возможности определить содержание всех этих компонентов. В бланках инвентаризации заводов в выбросах воздушников указывается не более десятка наименований компонентов выбросов. Валовые выбросы вредных веществ в атмосферу химических цехов КХП занижены в восемь раз.

Технологический процесс каталитической очистки разработан по расчетному количеству выбросов с каждой единицы оборудования АО «ЕВРАЗ ЗСМК», что позволяет полностью охватить весь объем выбросов каждого компонента, каждой единицы оборудования и при расчете материальных и тепловых балансов более точно учесть нагрузку на катализатор. Расчеты количеств парогазовоздушных выбросов выполнены по методике ВУХИНа при следующих допущениях: пары углеводородов рассматривали как идеальный газ; расчеты вели на номинальную производительность агрегатов, максимально возможное часовое количество выбросов и максимальное содержание в них каждого из компонентов; при отсутствии в технической литературе исходных данных по парциальным давлениям отдельных компонентов для расчета принимали данные ближайшего аналога рассматриваемого соединения [16]. Суммарное количество подвергаемых каталитической очистке парогазовых выбросов подключенных к КС воздушников отделений СПЦ и ЦХУ представлено в таблице 1.

Принципиальная технологическая схема установки высокотемпературной каталитической очистки отходящих газов СПЦ представлена на рисунке.

Установка включает в себя следующее оборудование: каталитический реактор 1 конструкции НПО «Энергосталь» с топочным устройством 2 и встроенным рекуператором; экономайзер 3; два дымососа 4; два вентилятора 5; огнепреградитель 6; газоходы, трубопроводы, арматуру, систему КИПиА, электрооборудование; дымовую трубу 7. Собранные в коллекторную систему контактные газы с температурой $70 - 90$ °С по обогреваемому трубопроводу (температура на стенках трубопровода должна быть не менее 150 °С)

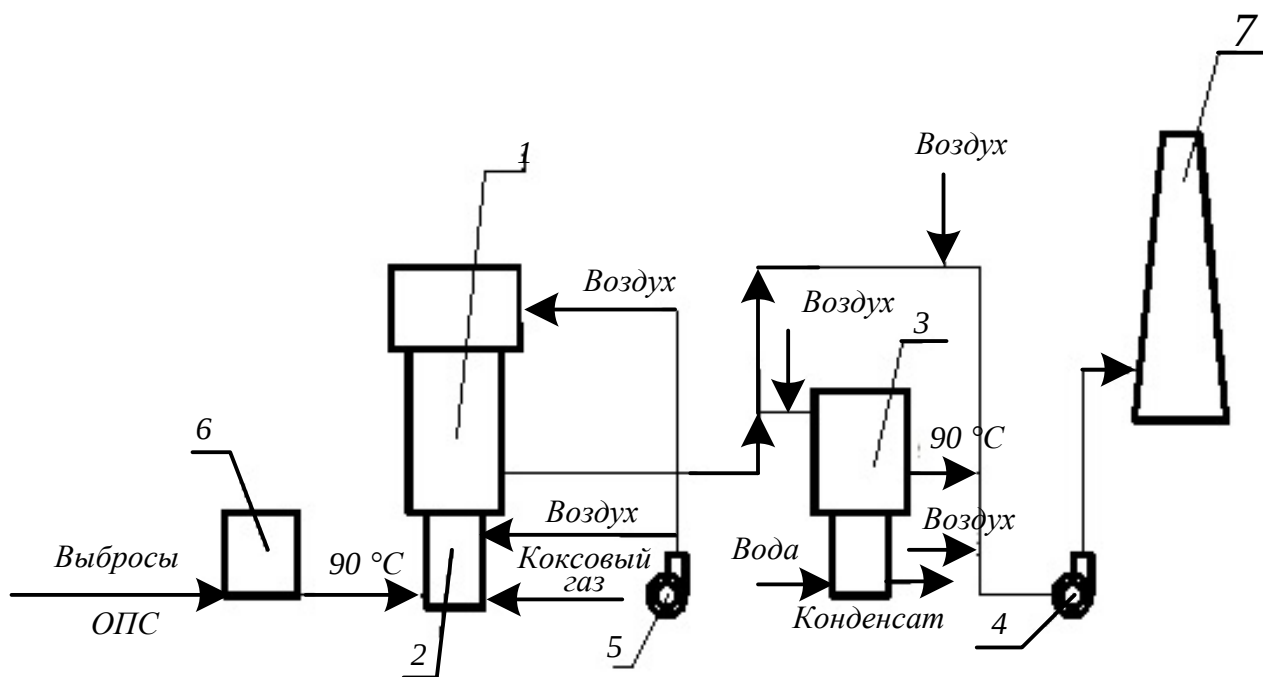
**Суммарное количество парогазовых выбросов подключенных к КС
воздушников отделений СПЦ и ЦХУ**

Наименование выбросов	Количество выбросов, г/ч	
	до очистки	после очистки
Аммиак	35223,400	704,468
Водород цианистый	1151,400	23,028
Сероводород	10108,000	202,160
Бензол	33540,200	670,804
Толуол	1860,100	37,202
Ксилолы	2372,600	47,452
Нафталин	41986,900	839,738
1-метилнафталин	853,900	17,078
2-метилнафталин	1537,900	30,758
Фенол	2199,100	43,982
Крезолы	927,400	18,548
Ксиленолы	2362,500	47,250
Пиридин	992,300	19,846
Хинолин	1294,900	25,898
Аценафтен	4118,300	82,366
Антрацен	377,600	7,552
Карбазол	424,200	8,484
Фенантрен	2947,800	58,956
Вода	187160,500	3743,210
Производные бензола	4805,600	96,112
Сернистые	86,800	1,736
Бенз[а]пирен	2,600	0,052
Флуорантен	19,000	0,380
Пирен	1,400	0,028
Дифенил	8,000	0,160
Хризен	0	0
Итого:	336362,400	6727,248

поступают с помощью вентилятора в термокаталитический реактор, снабженный топочным устройством, где органические вещества подвергаются глубокому каталитическому окислению в слое катализатора. При окислении температура газов в реакторе поддерживается на уровне 500 – 550 °С при дополнительной подаче воздуха. Для полного окисления ПАУ и бенз[а]пирена рекомендуется коэффициент расхода воздуха

$\alpha = 5 \div 6$ [3], для чего взамен воздуха предлагается подача вентиляционных выбросов ОКНФ. Для нагрева очищаемого газа используется коксовый газ, поступающий в циклонную топку 2, температура в которой составляет 700 °С. После термока-

талитического реактора и охлаждения во встроенном рекуператоре очищенные контактные газы с температурой 380 °С по трубопроводу поступают в экономайзер 3, где отдают тепло технической воде и охлаждаются до 200 °С. Из экономайзера очищенные газы с температурой 90 °С удаляются дымососом и выбрасываются через дымовую трубу в атмосферу. Предусмотрен подсос вентиляционных выбросов до дымососа 4. Подача вентиляционных выбросов на горение топливного газа осуществляется дутьевым вентилятором 5. Для случая повышения температуры на выходе из контактного аппарата предусмотрен дополнительный подсос вентиляционных выбросов до экономайзера.



Принципиальная технологическая схема установки высокотемпературной каталитической очистки отходящих газов воздушников цехов улавливания и переработки химических продуктов коксования:

- 1 – термокаталитический реактор; 2 – циклонная топка;
3 – экономайзер; 4 – дымосос; 5 – вентилятор;
6 – огнепреградитель; 7 – дымовая труба

Для высокотемпературной каталитической очистки отходящих газов воздушников коксохимического производства предлагается использовать термокаталитический реактор НПО «Энергосталь» с пятью корзинами катализатора [19]. Реактор содержит размещенную по его оси центральную трубу, в нижней части которой находится циклонная топка, снабженная патрубком для входа газов. Средняя часть центральной трубы через отверстия сообщается с межтрубным пространством теплообменника и имеет регулирующее устройство. Корзина с катализатором может подвергаться воздействию температур (до 600 °C), поэтому она выполняется из жаростойкой нержавеющей стали. Корпус аппарата и печи, трубопровод от печи до контактного аппарата футерован огне-

упорным кирпичом. Степень очистки от органических веществ составит 98 % при объемной скорости 3 тыс.ч⁻¹, объеме загрузки шлакового катализатора в одну корзину 1,5 м³, гидравлическом сопротивлении слоя катализатора высотой 150 мм при 20 °C – 461 Па, при 500 – 550 °C – 1,13 кПа (линейная скорость 0,54 м/с).

С целью снижения расхода материальных и энергетических ресурсов при очистке выбросов для глубокого окисления полициклических ароматических углеводородов, в том числе смолистых канцерогенных веществ (бенз[а]пирена), разработаны катализаторы на основе металлургических шлаков. Такие катализаторы могут быть изготовлены на каждом металлургическом комбинате, где предполагается строительство установки каталитической очистки [15, 20, 21]. В качестве катализаторов глубокого окисления могут быть использованы рядовые шлаки (мартеновский, конвертерный); передельные (конвертерный, ванадиевый, малофосфористый, марганцевый). Характеристика рекомендуемого медно-кобальтового катализатора на базе рядового конвертерного шлака представлена в таблице 2.

Характеристика медно-кобальтового катализатора на базе рядового конвертерного шлака

Показатель	Значение показателя
Носитель катализатора	Рядовой конвертерный шлак АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
Внешний вид	Частицы неправильной формы, серые или черные, матовые
Размер частиц, мм	3 – 5
Насыпная плотность, г/см ³	1,7 – 1,9
Механическая прочность на раздавливание одной частицы, кг	не менее 30
Массовая доля, % кобальт медь	не менее 3,4, не менее 2,6
Каталитическая активность, %	не менее 98

Конвертерный рядовой отвальный шлак – носитель медно-кобальтового катализатора – это отходы производства, что делает катализатор дешевым и доступным. При невысоком содержании каталитически активных компонентов 6 % по массе меди и кобальта имеет высокую каталитическую активность – степень окисления полициклических ароматических углеводородов составляет 98 %.

Рассматриваемая технология разработана с учетом всех последних технических достижений в коксохимической отрасли: коллекторных систем сбора и транспортировки выбросов емкостного оборудования; теоретических расчетов всех потенциальных выбросов с учетом подачи в прямой коксовый газ выбросов установки окисления пека; очистки вентиляционных выбросов ОКНФ с подачей их в контактный аппарат и топку установки окисления каталитической очистки с использованием современной конструкции контактного аппарата НПО «Энергосталь»; использования дешевых, доступных, механически прочных, термически стойких катализаторов на базе металлургических шлаков.

Выводы. Разработана технология термокаталитической очистки выбросов воздушников емкостного оборудования цехов улавливания и переработки химических продуктов коксования (смолоперерабатывающего и химулавливания) на совместной каталитической установке на активированных шлаковых катализаторах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сухоруков В.И. Научные основы совершенствования техники и технологии производства кокса. – Екатеринбург: ВУХИН, 1999. – 393 с.
2. Павлович Л.Б., Титова О.О. Экологические проблемы металлургического производства: учеб. пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. – 211 с.
3. Бородин В.И., Привалов В.Е., Степаненко А.А. и др. Каталитическое обезвреживание канцерогенсодержащих выбросов пекоподготовки смолоперерабатывающего цеха и пекококсовых производств // Вопросы технологии улавливания и переработки продуктов коксования. 1979. № 8. С. 52 – 55.
4. Ляпкин А.А., Патрушев А.Н., Андрейков Е.И. и др. Каталитическое обезвреживание отработанного воздуха пекоподготовки // Кокс и химия. 1980. № 5. С. 41 – 44.
5. Павлович Л.Б., Патрушев А.Н., Андрейков Е.И. и др. Обезвреживание воздушных выбросов пекового отделения смолоперерабатывающего цеха // Кокс и химия. 1997. № 4. С. 39 – 41.
6. Павлович Л.Б., Медведская Е.В., Осокина А.А. Оценка экологического риска от производственной деятельности коксохимического производства // Кокс и химия. 2013. № 5. С. 33 – 40.
7. Павлович Л.Б., Осокина А.А., Суржиков Д.В., Лупенко В.Г. Снижение давления на окружающую среду на базе расчетов экологического риска // Кокс и химия. 2016. № 9. С. 40 – 49.
8. Стефаненко В.Т., Хусанов И.С., Зайденберг М.А. и др. Сокращение выбросов из химических цехов // Кокс и химия. 1995. № 12. С. 31 – 33.
9. Грабко В.В. Снижение вредных выбросов из химических источников // Кокс и химия. 1995. № 7. С. 43 – 47.

10. Куркин В.В., Добрынин В.В., Зимин Э.М. Утилизация вредных выбросов смолоперерабатывающей установки // Кокс и химия. 2001. № 11. С. 36 – 38.
11. Шашков О.А. Коллекторная система сбора паров цеха переработки химических продуктов коксования // Кокс и химия. 2006. № 12. С. 28, 29.
12. Абасеев В.Н. Термические и каталитическое обезвреживание отходящих газов, содержащих 3,4-бенз(а)пирен // Химическая промышленность. 1973. № 1. С. 25, 26.
13. Носков А.С. Каталитические методы для решения экологических проблем. – В кн.: Труды регионального научно-практического семинара «Пути коммерциализации фундаментальных исследований в области химии для отечественной промышленности». – Казань, 2002. – 142 с.
14. Павлович Л.Б., Протопопов Е.В., Коротков С.Г. Каталитические процессы очистки выбросов металлургического производства: Учеб. пособие. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. – 169 с.
15. Павлович Л.Б., Павлович С.И. Катализаторы и каталитические процессы глубокого окисления на основе металлургических шлаков. – Новосибирск: изд. СО РАН, 2014. – 268 с.
16. Павлович Л.Б., Васильева Т.В., Лупенко В.Г. Коллекторная система сбора и утилизации паровоздушных выбросов смолоперерабатывающего цеха // Вестник горно-металлургической секции Российской академии наук. 2011. Вып. 27. С. 207 – 212.
17. Медведская О.О., Павлович Л.Б. Технология обезвреживания газообразных и использования твердых отходов металлургического производства. – В кн.: Сб. докладов Третьей международной научно-практической конференции «Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе». – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. С. 226 – 236.
18. Медведская О.О., Павлович Л.Б. Энергосберегающие технологии очистки выбросов от полициклических ароматических углеводородов. – В кн.: Сб. докладов XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии». – Томск, 2011. С. 223 – 225.
19. А.с. 1486702 СССР / Дунаев А.В., Бородин В.И., Серебрянова В.В. и др. Термокаталитический реактор для очистки газовых выбросов. Заявл. 1989; Оpubл. бюллетень изобретений № 22.
20. Медведская О.О., Павлович Л.Б. Исследование каталитической активности рядовых отвальных шлаков черной металлургии // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 11 – 15.
21. Медведская О.О., Павлович Л.Б. Исследование каталитических свойств ферросплавных шлаков // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 3 – 7.

© 2017 г. Л.Б. Павлович,

Н.А. Шалаева

Поступила 18 апреля 2017 г.

УДК 669.1

В.В. Стерлигов, Н.Е. Козлова, Т.Е. Абдыкалык

Сибирский государственный индустриальный университет

КОМПЛЕКСНАЯ СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ТОПЛИВА

Один из основных вызовов современному обществу в глобальных масштабах – это возможность потепления климата Земли. И почти единогласно все определяют причиной этого «парниковый эффект», возникающий на способности некоторых газов, входящих в состав атмосферы, поглощать волны инфракрасной части спектра солнечного света, которая переносит энергию теплового излучения.

Существует даже формальный перечень парниковых газов. Согласно данным работы [1] к ним относятся: диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4), озон и другие газы. Как следует из теплофизики [2], способностью практического поглощения тепловой энергии обладают газы, имеющие в своем составе три и более атомов, и хотя вода, вернее, водяные пары (H_2O) попадают под это определение, вода не включена в этот список в силу быстрого исчезновения из атмосферы в виде жидкости (дождя).

В различных источниках [3 – 5] объемная доля каждого из парниковых газов по содержанию в атмосфере оценивается по-разному:

CO_2 – 0,0314 % [3]; 0,0393 – 0,0397 % [4]; 0,03 – 0,05 % [5];

CH_4 – 0,0002 % [3]; 0,01985 [4]; 0,018 [5];

Озон – 0 – 0,000002 % [3]; 0,000001 [5].

Несмотря на то, что эти данные немного различаются между собой, следует признать общие тенденции в ранжировании данных по каждому газу. Наибольший вклад вносит диоксид углерода CO_2 , который на 70 % [5] имеет антропогенное происхождение.

Источником диоксида углерода является углеводородное топливо, которое используется при сжигании для различных целей, и генерирует CO_2 при окислении углерода кислородом. Поэтому самым действенным путем снижения эмиссии CO_2 является уменьшение объемов сжигаемого топлива. Но так как в настоящее время человечество 70 % потребляемой энергии использует в виде теплоты, генерируемой при сжигании топлива [6], то отказаться от использования топлива невозможно, и

единственным путем как-то решить эту проблему является ограничение выбросов CO_2 путем энергосбережения, т.е. рационализация потребления топлива. Это и указано в ст. 2 п. 5 Киотского протокола [7], принятого в 1997 году как основного директивного документа по выполнению Рамочной конвенции по изменению климата [8], утвержденной в 1991 году в Рио-де-Жанейро.

Этот документ впервые ввел экономическую ответственность за выбросы CO_2 и установил квоты на его выбросы, которые каждая страна должна уменьшить в соответствии с приложением к Киотскому протоколу. Россия отстояла права сохранить выбросы на прежнем уровне ввиду регенерирующего действия сибирских лесов на состав атмосферы. С другой стороны, глубокое падение производства в начале XXI века позволило России не превышать квоты. Поскольку правовые положения Киотского протокола прекратили свое действие в 2012 году, в настоящее время запущен механизм создания нового, так называемого Посткиотского документа. В декабре 2015 года в Париже состоялся экологический саммит, где главы 192 государств подписали соглашение [9], в котором закреплена политическая воля участников саммита продолжить борьбу с «парниковым эффектом».

Эта общая глобальная реакция на выбросы CO_2 начинает проявляться и в России, хотя медленно и с запозданием. Примером этого может служить перечень газов [10], за выбросы которых установлена плата. Среди них нет CO_2 , хотя во всем мире такая величина существует и по разным данным колеблется в широких пределах от 12 до 15 \$ за тонну. На федеральном уровне в России тоже существует такая неопределенность. Так, в работе [10] эта величина определена в 25 \$ за тонну выбросов. Между тем, имеется косвенное доказательство существования такой нормы в подпрограмме федеральной программы энергосбережения [11]. В этом документе представлена цифра 400 руб./тонну CO_2 , что резко отличается от всех вышеприведенных данных.

Все это определяет низкий уровень решения проблемы парникового эффекта в нашей стране. Международные тенденции и готовность Российской Федерации интегрироваться в общемировой процесс требуют уже сейчас готовиться к работе по этой проблеме, изучать имеющуюся информацию и проводить новые исследования, чему и посвящена настоящая работа.

Тот очевидный факт, что количество выбросов CO_2 зависит от объема энергопотребления, а следовательно и от количества сжигаемого топлива, определяет приоритет энергосбережения перед экологией. Принцип: «Меньше сжигаешь топлива, меньше имеешь выбросов» и привел к предложению режима энергосбережения для обеспечения уменьшения объемов выбросов CO_2 .

С другой стороны, количество выбросов связано с массой потребления топлива через выражение

$$V = C_m \cdot M \quad (1)$$

где V – объем выбросов, м^3 ; M – масса сжигаемого топлива, кг; C_m – коэффициент пропорциональности, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Если показатель M является экстенсивным параметром, связанным с размерами, количеством, то величина C_m является мерой интенсивности, показывающей удельную, т.е. приходящуюся на единицу величину. Она более представительна и объективна, т.к. является показателем процесса, а не его размеров, масштабов. Очевидно, что величина $C_m = V/M$ должна быть постоянной мерой в этом соотношении.

Но так как сжигание топлива производится с целью обеспечения какой-то тепловой мощности, то более показательным будет величина

$$C_q = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

В свою очередь $Q = Q_H^p M$, где Q_H^p – теплота сгорания единицы топлива ($\text{ккал}/\text{кг}$, $\text{ккал}/\text{м}^3$).

Окончательно после подстановки имеем

$$C_q = C_m M / (Q_H^p M) = C_m / Q_H^p, \text{ м}^3/\text{ккал}, \text{ м}^3/\text{кДж}. \quad (3)$$

Полученная величина является показателем эмиссии диоксида углерода CO_2 , м^3 на 1 ккал (кДж), содержащихся в топливе, она служит мерой интенсивности. Считаем, что эта величина является принципиально новой характеристикой топлива, которая как и известные

теплотехнические показатели – теплота сгорания Q_H^p и стоимость единицы топлива, определяет экологическое качество.

Для получения сравнительных характеристик различных топлив по эмиссии CO_2 лучше всего использовать этот показатель. Сравнивая топлива по этому параметру, можно к стоимостной и термохимической их оценке топлива добавить экологическую. При этом можно сравнивать топлива различных агрегатных состояний: и газ, и мазут, и уголь, которые используются, например, в металлургии, являющейся наиболее энергоемкой и распространенной.

В отечественной металлургии используются доменный, коксовый и природный газы, а также их смеси – коксо-доменный, природно-доменный и коксо-природный.

Для получения величины C_q , которая показывает количество CO_2 в м^3 на 1 ккал исследуемых топлив, была проведена обработка литературных данных по расчету горения этих топлив [12]. Данные расчетов содержали все необходимые величины для выполнения контрольных расчетов: состав топлива, теплоту сгорания, состав и объем продуктов сгорания, включая CO_2 . Все параметры были рассчитаны при коэффициенте расхода воздуха $\alpha_r = 1$, хотя для подтверждения правильности обсуждаемого подхода для оценки экологического качества топлива это не имеет значения.

Результаты расчетов представлены на рисунке сплошной линией, где можно видеть несколько зон для различных топлив:

I – коксо-доменная смесь, зона, в которой существует гиперболическая функция $C_q = f(Q)$, в эту зону входят газы со следующими значениями Q_H^p : доменный газ с $Q_H^p = 800 - 1000 \text{ ккал}/\text{м}^3$, коксо-доменный с $Q_H^p = 1200 - 3500 \text{ ккал}/\text{м}^3$, коксовый с $Q_H^p = 4100 \text{ ккал}/\text{м}^3$;

II – природно-доменный (обозначено «звездочкой»);

III – природный газ (чистый газ и смесь с коксовым: природно-коксый с $Q_H^p = 6400 - 7200 \text{ ккал}/\text{м}^3$, природный с $Q_H^p = 8400 - 9100 \text{ ккал}/\text{м}^3$);

IV – попутный нефтяной газ.

Для проверки результатов, основанных на литературных данных, были проведены собственные расчеты для доменного и коксового газов ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Результаты этих расчетов приведены в табл. 1 и 2.

Для того, чтобы найти вводимый параметр C_q , расчеты были проведены для составов кок-

со-доменной смеси при шести различных значениях теплоты сгорания.

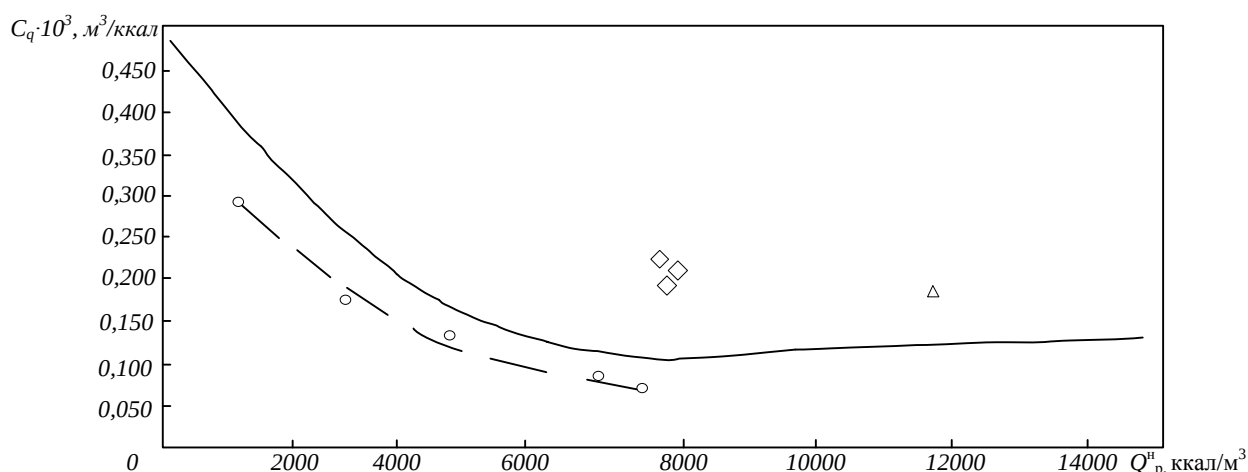
Эти результаты представлены штриховой линией на рисунке. Как видно, точки хорошо повторяют кривую, построенную по литературным данным, что подтверждает предлагаемую модель оценки эмиссии CO_2 как функции теплоты сгорания Q_{H}^{P} .

Проверка этой модели для жидкого (мазута) и твердого (угля) топлива представлена на рисунке (точки обозначены «ромбами»). Для $Q = 10038$ ккал/кг определена точка («треугольник») для мазута по данным [10], в качестве

твердого топлива были рассмотрены энергетические угли Кузнецкого бассейна [14].

Исходные составы углей представлены в табл. 3, а результаты расчетов в табл. 4.

Расчеты показывают сходимость результатов, что указывает на общность модели эмиссии CO_2 для различных марок углей, а проверка статистической гипотезы об однородности дисперсии на основе критерия Кохрена [15] подтвердила правильность этой гипотезы. Расчеты еще девяти различных случаев (по трем месторождениям для трех марок углей) тоже не выявили расхождений для разных марок угля.



Сравнение полученных данных

Т а б л и ц а 1

Состав газов АО «ЕВРАЗ ЗМСК» [13]

Газ	Содержание, %							
	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	Σ
Коксовый	58,2	8,4	24,3	2,0	2,4	0,4	4,3	100,0
Доменный	2,3	29,0	0,2	–	13,1	–	55,4	100,0

Т а б л и ц а 2

Параметры горения газов АО «ЕВРАЗ ЗМСК»

Газ	Параметр					
	L ₀ , м ³ /м ³	V ₀ , м ³ /м ³	V _{CO2} , м ³	CO ₂ , %	C _q	Q _H ^P , ккал/м ³
Доменный	76,43	161,18	42,3	26,24	0,422	951
Коксовый	418,56	551,86	47,5	8,618	0,473	4109

П р и м е ч а н и е. L₀ – расход воздуха на горение, V₀ – объем продуктов сгорания; V_{CO2} – объем CO₂ в продуктах сгорания; CO₂ – процентное содержание CO₂ в продуктах сгорания; C_q – количество CO₂, м³ на 1 ккал исследуемого топлива; Q_H^P – теплота сгорания топлива.

Таким образом, доказана возможность и целесообразность использовать показатель эмиссии CO₂, отнесенный к экологической

ценности топлива наряду с натуральными (Q_H^P) и стоимостными (цена) показателями. Причем такой подход, когда оценка качества

относится к единице энергии (ведь покупают ее, а не топливо) может быть использована для любого составляющего компонента продуктов сгорания и, прежде всего вредных, таких как NO_x , SO_2 , бенз(а)пирен и другие.

Ценность предложенного подхода увеличивается, если перейти к стоимостной форме

этой удельной характеристики. Для эмиссии CO_2 это может быть получено в соответствии со следующим выражением:

$$C_{\text{CO}_2} = \rho C_q P \cdot 10^{-3}, \text{ руб/кДж.}$$

Т а б л и ц а 3

Состав энергетических углей

Наименование шахты	Содержание, %						
	C ^p	H ^p	S ^p	O ^p	N ^p	W ^p	A ^p
Уголь марки «Д»							
Им. Ярославского (ДСШ)	58,79	4,19	0,37	9,57	1,87	12,00	13,20
Инское шахтоуправление (ДКМ)	66,25	4,80	0,22	9,50	1,94	8,50	7,32
Им. Ярославского (ДР)	61,01	4,39	0,30	10,10	1,94	11,00	10,68
Уголь марки «Г»							
Полысаевская (ГКОМ)	70,05	5,10	0,30	7,55	1,94	6,00	7,52
Октябрьская (ГР)	61,82	4,48	0,37	8,23	2,02	8,00	14,72
Им. Кирова (Г+ГР)	59,05	4,30	0,82	6,88	2,09	10,00	17,10
Уголь марки «Т»							
Листвянская (ТОМСШ)	69,55	3,32	0,45	2,24	1,50	7,00	15,81
Шушлулепская (ТОМСШ)	66,68	2,72	0,67	2,24	1,35	8,00	18,40
Михайловский участок (ТРОК)	64,47	2,61	0,45	5,46	1,72	10,00	15,30

Т а б л и ц а 4

Результаты расчетов горения угля (усредненные значения при коэффициенте расхода воздуха $\alpha = 1$)

Марка угля	CO_2		N	$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$	C_q
	м ³	кг	моль	ккал/кг	м ³ /ккал
«Д»	1,15	2,28	190	4816,23	0,238
«Г»	1,18	2,34	195	6066,47	0,194
«Т»	1,24	2,45	204,6	6010,41	0,206

Умножая величину C_q , м³/кДж, на плотность ρ , кг/м³, получим массу выбрасываемого CO_2 , кг/кДж, поскольку плата P за выбросы устанавливается за массу (конкретно руб/т). Показатель 10^{-3} указывает перевод массы из килограммов в тонны.

Но точно так же можно определить стоимость 1 кДж в топливе по выражению

$$C_Q = \frac{C_Q \cdot 10^{-3}}{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}, \text{ руб/кДж,}$$

где C_Q – цена топлива (угля), руб/т; $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – теплота сгорания, кДж/кг.

Аналогично можно определить удельные затраты на транспортировку топлива, его хранение и переработку, сжигание и т.д.

В результате получим аддитивную совокупность характеристик, имеющих стоимост-

ный характер, что позволяет их складывать. Это создает возможность формальной оценки для разных топлив по величине общей стоимости единицы энергии в соответствии с выражением

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i,$$

где C_i – удельная стоимость затрат по отдельным признакам, руб/кДж.

Таким образом станет возможным формировать сравнение качеств топлива, переводя всю процедуру на компьютерное определение отдельных видов затрат. В этом случае можно сравнивать различные топлива с детальной оценкой затрат по их реализации. При таком подходе, вероятно, наиболее приемлемым бу-

дет топливо с минимальной величиной общих затрат.

Выводы. Доказана рациональность введения удельных оценок параметров топлива, т.е. отнесенных к единице энергии. На основе этого подхода предложена методика получения комплексного стоимостного показателя энергоэкологической стоимости топлива, позволяющая компьютеризировать оценку качества топлива по минимальным удельным затратам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокорин А.О., Сафонов Г.В. Что будет после Киотского соглашения. – WWF России: GOF, 2007. – 24 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
3. Информационный портал Grandars.ru. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: <http://www.grandars.ru/shkola/geografiya/sostav-atmosfery.html> (Дата обращения 15 марта 2017 г.).
4. Информационный портал Wonderful Planet. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: <http://wonderful-planet.ru/atmosfera/97-atmosfera-zemli.html?start=7> (Дата обращения 15 марта 2017 г.).
5. Экобаланс. Независимая экологическая экспертиза. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: <http://ekobalans.ru/investigations/uglekislyiy-gaz> (Дата обращения 15 марта 2017 г.).
6. Проценко А.Н. Энергетика сегодня и завтра. – М.: Молодая гвардия, 1987. – 220 с.
7. Интернет-сайт для консультант по практическому исследованию механизмов Киотского протокола. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: www.carbonmarketsolutions.com (Дата обращения 15 марта 2017 г.).
8. Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Нью-Йорк. 9 мая 1992 г.
9. Парижское соглашение об изменении климата, 15.12.2015 г. Париж. Интернет-сайт. Электронный ресурс. – [Режим доступа]: www.ipcc.ch (Дата обращения 15 марта 2017 г.).
10. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения. В 2-х кн. – М.: Теплоэнергетик, 2003. – 688 с.
11. Государственная Программа РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 27.12.2010 г. «2446-р).
12. Справочник конструктора печей прокатного производства. Т. 1 / Под ред. В.М. Тымчака. – М.: Металлургия, 1970. – 575 с.
13. Самохвалов Г.В. Учебно-методическое пособие по проектированию металлургических печей. – Новокузнецк: изд. СМИ, 1991. – 107 с.
14. Энергетическое топливо СССР: (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий газ). Справочник / Матвеева И.И., Новицкий Н.В., Вдовченко В.С. и др. – М.: Энергия, 1979. – 128 с.
15. Вентцев Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1973. – 364 с.

© 2017 г. В.В. Стерлигов, Н.Е. Козлова,
Т.Е. Абдыкалык
Поступила 23 марта 2017 г.

К 65-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ И 40-ЛЕТИЮ НАУЧНОЙ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГАЛЕВСКОГО ГЕННАДИЯ ВЛАДИСЛАВОВИЧА



4 марта 2017 г. исполнилось 65 лет со дня рождения и 40 лет научной и педагогической деятельности известного ученого в области металлургии и химической технологии, Заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Геннадия Владиславовича Галевского.

Галевский Геннадий Владиславович родился в городе Барабинске Новосибирской области. В 1974 г. окончил Сибирский металлургический институт по специальности «Металлургия черных металлов», в 1977 г. – аспирантуру при Институте физико-химических основ переработки минерального сырья СО АН СССР. В 1979 г. ему присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неорганических материалов», в 1991 г. – доктора технических наук по специальности 05.17.01 «Технология неорганических веществ». Имеет ученое звание профессора (1991 г.).

Вся трудовая и научная деятельность Геннадия Владиславовича, начиная с 1977 г. связана с Сибирским государственным индустриальным университетом (СибГИУ, ранее СМИ, СибГГМА): доцент, профессор, заведующий

кафедрой металлургии цветных металлов и химической технологии (с 1991 г. до сегодняшнего дня), проректор по учебной работе (1993 – 2008 гг.), директор Института металлургии и материаловедения (с 2013 г. по настоящее время).

При непосредственном участии профессора Галевского Г.В. разработана и реализована комплексная программа превращения узкопрофильного металлургического института сначала в Сибирскую горно-металлургическую академию (1995 г.), а затем – в Сибирский государственный индустриальный университет (1998 г.) с развитой инфраструктурой, современными образовательными и научными платформами, высокоэффективными системами менеджмента качества подготовки специалистов и содействия их трудоустройству.

За многолетнюю плодотворную педагогическую и административную деятельность и большой личный вклад в подготовку специалистов с высшим образованием в 2000 г. Галевскому Г.В. присвоено звание «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

Под руководством профессора Галевского Г.В. сформировалась и в течение 35-ти лет успешно функционирует научная школа «Создание и применение наноматериалов в металлургии, химической технологии и машиностроении», в рамках которой решены такие крупные научные и прикладные задачи, как освоение плазмотермических технологий производства multifunctional наноматериалов для композиционного материаловедения; создание научных основ проектирования и конструирования необходимого плазмотермического оборудования; введение в обращение обширной по номенклатуре группы наноматериалов в отечественной металлургической практике. Научно-технологические разработки защищены 30 патентами и удостоены золотой, серебряной и бронзовой медалей ВДНХ и ВВЦ. За заслуги в разработке приоритетного направления науки и техники, создании научной школы, воспитании и подготовке научных кадров в 1999 г. профессору Г.В. Галевскому присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации», а в 2004 г. за высокие достижения в развитии экономи-

ческого и научного потенциала России он награжден орденом Дружбы и нагрудным знаком «Почетный металлург Российской Федерации», ему присвоено звание «Лауреат премии Кузбасса». В 1996 г. Отделение металлургии Российской академии естественных наук избирает его своим академиком.

В творческом наследии профессора Г.В. Галевского – более 950 трудов, в том числе 25 монографий и научно-справочных изданий, 650 опубликованных научных статей, 35 учебников, 55 сборников научных трудов, 145

учебно-методических работ, 40 патентов и свидетельств. Он награжден орденом «За заслуги в науке о металлах», учрежденным отечественным лидером металлургического образования и науки – Московским институтом стали и сплавов (НИТУ).

Коллеги и ученики сердечно поздравляют профессора Галевского Геннадия Владиславовича с 65-летием. Здоровья, долгих лет жизни, творческих успехов!

К 65-ЛЕТИЮ АНДРЕЯ РОСТИСЛАВОВИЧА ФАСТЫКОВСКОГО



26 апреля 2017 исполнилось 65 лет профессору, заведующему кафедрой «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», почетному работнику высшего профессионального образования РФ Андрею Ростиславовичу Фастыковскому.

После окончания Сибирского металлургического института в 1974 году, получив специальность инженера по обработке металлов давлением, А.Р. Фастыковский активно занимался научной и педагогической деятельностью. Прошел путь от инженера-исследователя до доктора технических наук, заведующего выпускающей кафедры.

А.Р. Фастыковский – известный специалист в области обработки металлов давлением. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные им, дали возможность заложить научные основы практического применения совмещенных методов обработки металлов давлением, с использованием которых раз-

работаны новые технические и технологические решения, внедренные на металлургических предприятиях с большим экономическим эффектом.

А.Р. Фастыковский – автор более 200 научных и учебных работ, в их числе монография, пять учебных пособий, рекомендованных министерством образования для преподавания в вузах страны, 17 авторских свидетельств и патентов. Высокий уровень учебных пособий подтвержден многочисленными дипломами авторитетных выставок и золотой медалью Парижской книжной выставки. За достижения в научной области он избран член-корреспондентом Российской академии естествознания (РАЕ).

А.Р. Фастыковский обладает большим опытом педагогической деятельности, которую он начал в 1980 г. Он постоянно совершенствует свое мастерство, использует передовые методы преподавания. Его знания и опыт по достоинству оценены коллегами. Он является членом двух диссертационных советов.

За многолетний добросовестный труд по подготовке специалистов высокой квалификации А.Р. Фастыковский удостоен звания «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», награжден орденом «LABORE ET SCIENTIA» (ТРУДОМ И ЗНАНИЕМ), медалями «Ветеран труда России», «70 лет Кемеровской области», «А. Нобеля». Заслуги А.Р. Фастыковского высоко оценены администрацией области: он награждался дипломами, почетными грамотами и денежными премиями.

Профессионал высокого уровня, доброжелательный, подтянутый и собранный А.Р. Фастыковский пользуется заслуженным уважением и авторитетом у коллег и студентов.

Коллектив университета поздравляет Андрея Ростиславовича с юбилеем, желает ему творческих успехов, энергии и здоровья.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.791.92:669.018.25

Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co при введении вольфрама и хрома / Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 4

Изучено влияние введения в шихту порошковой наплавочной проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Mo–Ni–V–Co вольфрама и хрома, используемых отдельно друг от друга, на микроструктуру, уровень загрязнения неметаллическими включениями. Показано, что варьирование химического состава исследуемой порошковой проволоки оказывает влияние на микроструктуру и свойства наплавленного ею слоя. Введение хрома в состав шихты порошковой проволоки способствует получению мартенситной структуры наплавленного металла с тонкими прослойками δ -феррита, расположенными по границам первичных зерен аустенита, а использование вольфрама обеспечивает формирование феррито-перлитной структуры. Установлено, что использование хрома способствует уменьшению величины бывшего зерна аустенита (№№ 7, 6 и №№ 6, 7) по сравнению с введением в шихту порошковой проволоки вольфрама (размер бывшего зерна аустенита соответствует № 6 и №№ 5, 6). В случае введения хрома в состав шихты порошковой проволоки наплавленный слой имеет более высокие значения твердости (30 – 46 HRC), чем при введении только вольфрама (21 – 25 HRC). Это обусловлено формированием мартенситной структуры, как известно, обеспечивающей значительную твердость, по сравнению с феррито-перлитной структурой. К тому же в данном случае на повышение твердости наплавленного слоя оказывает влияние уменьшение размера бывшего зерна аустенита вследствие введения хрома в состав шихты порошковой проволоки.

Ключевые слова: сварка, флюс, порошковая проволока, наплавка, микроструктура, твердость, износостойкость.

Investigation of structure and properties of metal deposited with flux cored wire of Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co system with introduction of tungsten and chromium / Gusev A.I., Kozyrev N.A., Kibko N.V., Kryukov R.E., Osetkovskii I.V. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 4.

Influence of tungsten and chromium separate introduction into the mix of flux cored wire of Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co system on microstructure, level of contamination with nonmetallic inclusions, has been studied. It is shown that variation in chemical composition of investigated flux cored wire affects microstructure and properties of the layer deposited with it. Introduction of chromium into flux cored wire contributes to formation of martensitic structure of weld metal with thin δ -ferrite layers located along the boundaries of the ultimate austenite grains, and introduction of tungsten provides formation of ferrite-pearlite structure. It has been established that introduction of chromium contributes to decrease in value of the prior austenite grains (N 7, 6 and 6, 7) as compared to introduction of tungsten flux cored wire into the mix (size of prior austenite grain corresponds to N 6 and N 5, 6). When chromium is introduced into the mix of flux cored wire, weld layer has higher hardness values (30-46 HRC) than with tungsten being introduced separately (21-25 HRC). This is due to martensitic structure formation, which is known to provide hardness significant in comparison with ferrite-pearlite structure. In addition, in this case, increase in hardness of deposited layer is affected by decrease in size of prior austenite grain due to introduction of chromium into the flux-cored wire mix.

Ключевые слова: welding, flux, flux cored wire, surfacing, microstructure, hardness, wear resistance.

УДК 622.273.212+622.28

Совершенствование бесцеликовых способов охраны повторно используемых подготовительных выработок / Ремизов А.В., Риб С.В. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 9.

Рассмотрены способы и средства охраны подготовительных горных выработок как с применением конструкций из сборного железобетона и литых полос из быстротвердеющих материалов, так и способы с оставлением угольных целиков. Предложены рекомендации по совершенствованию технологических схем охраны подготовительных выработок с использованием литой полосы из быстротвердеющих материалов. Ил. 1. Библ. 9.

Ключевые слова: подготовительные выработки, способ охраны, угольные целики, литая полоса из быстротвердеющих материалов, выемочный столб, бесцеликовая отработка угольных пластов, боковые породы, горно-геологические условия.

Perfection of aimless ways of protection of reusable preparatory workings / Remizov A.V., Rib S.V. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 9.

The ways and means of guarding the preparatory mine workings with the use of traditional structures from prefabricated reinforced concrete and cast strips of fast-hardening materials, as well as methods with the abandonment of coal pillars, are considered. Recommendations are proposed for the improvement of technological schemes for the protection of preparatory excavations using a cast strip of fast-hardening materials. Fig. 1. Ref. 9.

Keywords: preparatory workings, method of protection, coal pillars, cast strip of fast-hardening materials, excavating pillar, aimless working off of coal seams, side rocks, mining and geological conditions.

УДК 621.01

Задача структурного синтеза цепей М. Грюблера с поступательными кинематическими парами / Дворников Л.Т., Береснев Д.А. // Вестник СибГИУ. Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 12.

Одним из широко известных методов синтеза структур механизмов является метод М. Грюблера. До настоящего времени этот метод применяется при создании плоских механизмов с вращательными кинематическими парами. В настоящей работе, по мнению ее авторов, впервые решается задача синтеза плоских структур механизмов с использованием в них поступательных пар. Решение задачи показано на примере одной из шестизвенных цепей Грюблера. Ил. 6. Библ. 4.

Ключевые слова: цепи Грюблера, кинематические пары, поступательное движение, подвижность.

The problem of structural synthesis of M. Grubler's chains with sliding kinematic pairs / Dvornikov L.T., Beresnev D.A. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 12.

One of the widely-known methods for mechanisms' synthesizing is one proposed by M. Grybler. Up to the present moment this method is being applied when forming plain mechanisms with rotating kinematic pairs. We claim that the problem of plain mechanisms' synthesizing with the use of translatory pairs is solved for the first time. The solution of the task is provided on the example of one of the six-linked Grybler's chains. Fig. 6. Ref. 4.

УДК 621.771.06

Оценка нагруженности элементов прокатных клетей, связанных между собой через прокатываемую полосу / Савельев А.Н., Локтева Н.А., Королев В.С. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 16.

Динамические процессы на непрерывных прокатных станах, как правило, определяются характером технологических нагрузок в переходных зонах прокатки. В дальнейшем эти процессы распространяются на значительную часть стабильных участков технологического процесса, создавая тем самым дополнительные нагрузки на элементы привода машин. В результате моделирования процесса работы трехклетевой системы непрерывного прокатного стана, связанной между собой прокатываемой полосой, разработан инструментарий, позволяющий исследовать влияние различных кинематических и статических факторов прокатной системы на протекающие в ней динамические явления. На примере показано, что при захвате металла каждой из клетей в их главных линиях возникают значительные по величине динамические составляющие нагрузки. При этом динамические колебания передаются через металл на соседние клетки с некоторым уменьшением их амплитуды. Передача колебательного процесса через клеть на третью клеть практически незначима; это позволяет не принимать колебательный процесс в расчет при формировании непрерывных прокатных станов. Наибольшие крутящие моменты в приводе прокатных валков станов возникают в момент заполнения зоны деформации металлом при согласовании силовых и скоростных составляющих прокатываемого металла. По значению динамические составляющие нагрузки в этот момент могут превышать статические в 1,6 раза. Разработанная модель позволяет использовать сопровождающие формирование размеров прокатываемой полосы силовые и скоростные параметры для определения рациональных характеристик прокатных систем. Ил. 3. Библ. 14.

Ключевые слова: непрерывный прокатный стан, динамические процессы, математическая модель, динамическая модель, крутящие моменты, зона деформации.

Estimation of loading of rolling mill elements, connected through a rolling strip / Savel'ev A.N., Lokteva N.A., Korolev V.S. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 16.

Dynamic processes in continuous rolling mills, as a rule, are determined by nature of technological loads in transition zones of rolling. Subsequently, these effects spread out to a significant part of stable sections of technological process, thereby creating additional loads on machine drive elements. Based on modeling of operation of three stands continuous rolling mill system connected with a rolling strip, an instrument has been developed that enables investigation of the influence of various kinematic and static factors of the rolling system on dynamic phenomena occurring in it. The example shows that when metal is caught from each of the stands, significant dynamic components of the load appear in their main lines. In this case, dynamic vibrations are transferred through metal to adjacent stands with a certain decrease in their amplitude. Vibration process transfer through the stand to the third stand is insignificant; that is why vibration process is not taken into account during continuous rolling mills design. The largest rolling torques in the mill rolls drives occur at the moment of filling the zone of deformation with metal when force and velocity components of the rolling metal are matched. By their value, load dynamic components at this time can exceed static in 1.6 times. The developed model enables using force and speed parameters accompanying formation of rolling strip size to determine rational characteristics of the rolling systems. Fig. 3. Ref. 14.

Keywords: continuous rolling mill, dynamic processes, mathematical model, dynamic model, rolling torque, deformation zone.

УДК 725.011.1

Современное состояние жилого фонда и вопросы его реконструкции / Матехина О.В. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 21.

Реконструкция существующих жилых домов позволит в значительной мере снять остроту проблем при значительно меньших затратах по сравнению с новым полномасштабным строительством. Систематизация типов жилых зданий по возрасту, объемно-планировочным, санитарно-гигиеническим, конструктивным параметрам, степени обеспеченности инженерным благоустройством позволяет определить первоочередные задачи реконструкции жилых зданий с учетом их морального и физического износа и максимальной экономической эффективности. Библ. 3. Табл. 2.

Ключевые слова: жилище, реконструкция, износ, экономическая эффективность.

The current state of housing and its reconstruction / Matekhina O.V. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 21.

Reconstruction of existing dwellings would greatly alleviate problems at a much lower cost compared to the new large-scale construction. Systematization of the types of residential buildings by age, space-planning, sanitation, design parameters, the extent of security engineering accomplishment enables you to determine the priorities for reconstruction of residential buildings to meet their moral and physical deterioration and maximum economic efficiency. Ref. 3 Table 2.

Keywords: dwelling, reconstruction, wear, economic efficiency.

УДК 69.059.4:691

Повышение долговечности строительных объектов / Панова В.Ф., Камбалина И.В., Панов С.А. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 25.

Рассмотрены способы повышения долговечности строительных материалов, конструкций и сооружений. Показано, что повышение долговечности необходимо осуществлять на всех стадиях: при проектировании, организации технологического процесса, выборе эффективных строительных материалов и элементов конструкций. Антикоррозионная защита с применением эффективных материалов улучшает свойства конструкций. Рассмотрен вопрос ремонта как способа повышения долговечности строительных объектов. Библ. 19. Табл. 2.

Ключевые слова: долговечность, строительные материалы, конструкции, здания, ремонт, коррозия, защита.

Increase of durability of construction objects / Panova V.F., Kambalina I.V., Panov S.A. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 25.

Ways of increasing of the durability of building materials, constructions and structures are examined. It is shown that the increase of longevity should be done at all stages: design, organization of technological process, the selection of efficient building materials and structural elements. Corrosion protection with the use of efficient materials improves the properties of designs. The problem of repair as a way to improve the durability of construction projects is examined. Ref. 19. Table 2.

Keywords: durability, building materials, construction, building, repair, corrosion protection

УДК 692.44

Поверхность купола как элемент энергоэффективности ограждающих конструкций / Попова Е.И., Башенко Н.Н., Сорвачёв А.И., Чуприна О.Д. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 30.

Приведено сравнение купольной постройки и здания прямоугольной формы по их геометрическим параметрам. Отмечено, что при одинаковых покрываемых объеме и площади помещения площадь поверхности купола значительно меньше площади стен и крыши прямоугольного здания. На основе проведенного сравнения сделаны выводы об энергоэффективных свойствах купольных покрытий за счет меньшей площади оболочки. На основании анализа геометрических свойств куполов авторами отмечены несколько параметров, за счет которых купольная форма является более энергоэффективной. В работе предложено несколько способов увеличения энергоэффективности таких построек. В результате проведенного исследования авторы делают вывод, что энергоэффективность купольных построек базируется на их уникальной геометрической форме. При использовании современных достижений в области «зеленого строительства» и применения купольных оболочек в сфере проектирования и строительства зданий можно достигнуть низкого и нулевого потребления энергии. Ил. 6. Библ. 20.

Ключевые слова: строительство, энергоэффективность, купол, купольное покрытие, зеленое строительство, экономическая эффективность.

Dome surface as the element of energy efficiency of the enclosing structures / Popova E.I., Bashchenko N.N., Sorvachev A.I., Chuprina O.D. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 30.

Comparison of dome construction with the squared house in their geometrical parameters is given in this article. It has been noted that at the identical covered volumes and the area, the surface area of a dome is much smaller. On the basis of the performed comparison conclusions have been drawn on energy efficient properties of dome coverings at the expense of the smaller area of a cover. On the basis of other geometrical properties of domes authors have noted some more parameters at the expense of which the dome form is energy efficient. Several ways of increase in energy efficiency of such constructions were also offered in this work. On the basis of the research performed authors have come to a conclusion that energy efficiency of dome constructions is based on an unique geometrical form. Using modern achievements in the field of "green construction" together with a dome cover, it is possible to reach high rates in the field of design and construction of buildings of low and zero energy consumption. Fig. 6. Ref. 20.

Keywords: construction, energy efficiency, dome, dome covering, green construction, economic efficiency.

УДК 727.012

Городской центр дополнительного образования школьников – новый тип здания городской структуры / Осипов Ю.К. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 36.

Исследуется возможность концентрации основных направлений будущей профессиональной деятельности выпускников школ в отдельной городской типологической структуре через систему дополнительного образования. Ил. 5. Библ. 4.

Ключевые слова: дополнительное образование, выбор профессии, новый тип зданий.

Urban centre of further education students – a new type of building urban structure / Osipov Y.K. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 36.

Explores the possibility of concentration of the basic directions of future professional activity of graduates in a separate urban typological structure through a system of further education. Fig. 5. Ref. 4.

Keywords: education, choice of profession, a new type of buildings.

УДК 669.184

Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России / Волюнкина Е.П. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 43.

В России ежегодно образуется свыше 5 млрд.т отходов, около 99 % которых составляют отходы производства, или техногенные отходы. Основными отходообразующими отраслями экономики являются угольная промышленность и металлургия. В целом ежегодно направляется на размещение свыше 2 млрд.т отходов. Общее количество накопленных отходов по России это оценивается в 100 млрд.т. В настоящее время в РФ в сфере переработки отходов развивается, главным образом, бизнес по переработке отходов упаковки. Главным препятствием на пути развития переработки техногенных отходов является отсутствие реальной государственной поддержки. Для создания конкурентоспособной отечественной промышленности переработки техногенных отходов и, прежде всего, накопленных отходов производства от прошлой хозяйственной деятельности угольных, горнорудных, металлургических и теплоэнергетических предприятий, необходимо принятие законодательных мер, стимулирующих переработку отходов, а не их захоронение, создание стандартов по проектированию разработки и освоения техногенных месторождений, по требованиям к качеству и методам оценки качества техногенного сырья и продукции на его основе, создание опытных производств и типовых производственно-технических комплексов. Ил. 3. Библ. 13.

Ключевые слова: отходы, переработка, угольная промышленность, металлургия, техногенное сырье, законодательные меры.

Analysis of the problems of industrial wastes processing in Russia / Volynkina E.P. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 43.

In Russia annually produce more than 5 billion tons of waste, about 99% of which are waste products, or technogenic waste. Main generation waste industries are coal mining and metallurgy. More than 2 billion tons of waste is directed to the placement of the whole year. The total amount of accumulated waste in Russia is estimated at 100 billion tonnes. Currently the business of recycling of packaging waste is developing in Russia. The main obstacle to the development of processing of industrial waste is the lack of real government support. To create a competitive industry processing of industrial waste in Russia need to adopt legislative measures to encourage recycling, rather than dumping, the development of standards for the design development and development technogenic deposits, according to the quality requirements and methods for assessing the quality of secondary raw materials and products based on it, the creation of pilot plants and technical complexes. Fig. 3. Ref. 13.

Keywords: wastes, processing, coal industry, metallurgy, technogenic raw materials, legislative measures.

УДК 669.1:544.47

Катализаторы очистки газов от углеводородов и оксида углерода (II) / Павлович Л.Б., Дятлова К.А. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 50.

На базе техногенного сырья конвертерного отвалного металлургического шлака разработаны кобальтовый и меднокобальтовый катализаторы. Разработан эмпирический состав катализаторов. Табл. 1. Библ. 11.

Ключевые слова: черная металлургия, выбросы в атмосферу, глубокое каталитическое окисление, кобальтовые катализаторы, меднокобальтовые катализаторы, химический состав, конвертерный шлак.

Gas purifying catalyst of hydrocarbons and carbon monoxide / L.B. Pavlovich, Dyatlova K.A. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 50.

Developed and cobalt catalysts mednokobaltovy on the basis of technogenic raw converter dump metallurgical slag. Optimized composition of the catalyst system was developed empirical composition of the catalysts. Table 1. Ref. 11.

Keywords: steel, emissions into the atmosphere, deep catalytic oxidation, cobalt catalysts mednokobaltovy catalysts, chemical composition, converter slag.

УДК 662.749

Каталитическая очистка выбросов воздушников коксохимического производства / Павлович Л.Б., Шалаева Н.А. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 54.

Предложена технология термокаталитической очистки выбросов воздушников емкостного оборудования цехов улавливания и переработки химических продуктов коксования (смолоперерабатывающего и химулавливания) на совместной каталитической установке с использованием активированных шлаковых катализаторов. Ил. 1. Библ. 21.

Ключевые слова: коксохимическое производство, газозооушныы выбросы, экологический риск, воздушники, емкостное оборудование, каталитическая очистка, шлаковый катализатор.

Catalytic refining of ventilation lines emission in coke-chemical production / Pavlovich L.B., Shalaeva N.A. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 54.

Technology of thermo-catalytic refining of air emissions of vent lines of capacitive equipment of installations for recovery and processing of coking chemical products (resin processing and solvent recovery) on a joint catalytic installation using activated slag catalysts is proposed. Fig. 1. Ref. 21.

Keywords: coke-chemical production, gas-air emissions, environmental risk, vent lines, capacitive equipment, catalytic refining, slag catalyst.

УДК 669.1

Комплексная стоимостная оценка энергоэкологического качества топлива / Стерлигов В.В., Козлова Н.Е., Абдыкалык Т.Е. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 2 (20). – С. 60.

Доказана рациональность введения удельных оценок параметров топлива, т.е. отнесенных к единице энергии. На основе этого подхода предложена методика получения комплексного стоимостного показателя энергоэкологической стоимости топлива, позволяющая компьютеризировать оценку качества топлива по минимальным удельным затратам. Ил. 1. Табл. 4. Библ. 15.

Ключевые слова: топливо, экология, качество, стоимостная оценка.

Comprehensive cost estimate of energetic and ecological quality of fuel / Sterligov V.V., Kozlova N.E., Abdykalyk T.E. // Bulletin of SibSIU. – 2017. – № 2 (20). – P. 60.

Rational reason for introduction of specific estimates of fuel parameters, i.e. referred to a unit of energy is given. Based on this approach, the method of comprehensive cost estimate of energetic and ecological cost of fuel is proposed, providing possibility of digital assessment of fuel quality by minimal specific cost. Fig. 1. Table 4. Ref. 15.

Ключевые слова: fuel, ecology, quality, cost estimate

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Сибирского государственного индустриального университета» публикуются оригинальные, ранее не публиковавшиеся статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера по следующим направлениям:

Металлургия и материаловедение.

Горное дело и геотехнологии.

Машиностроение и транспорт.

Энергетика и электротехнологии.

Химия и химические технологии.

Архитектура и строительство.

Автоматизация и информационные технологии.

Экология и рациональное природопользование.

Экономика и управление.

Образование и педагогика.

Гуманитарные науки.

Социальные науки.

Отклики, рецензии, биографии.

К рукописи следует приложить рекомендацию соответствующей кафедры высшего учебного заведения и экспертное заключение.

Кроме того, необходимо разрешение ректора или проректора высшего учебного заведения (для неучебного предприятия – руководителя или его заместителя) на опубликование результатов работ, выполненных в данном вузе (предприятии).

В редакцию следует направлять два экземпляра текста статьи на бумажном носителе, а также на электронном. Для ускорения процесса рецензирования статей электронный вариант статьи и скан-копии сопроводительных документов рекомендуются направлять по электронной почте на e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru.

Таблицы, библиографический список и подрисуночный текст следует представлять на отдельных страницах. В рукописи необходимо сделать ссылки на таблицы, рисунки и литературные источники, приведенные в статье.

Иллюстрации нужно представлять отдельно от текста на носителе информации. Пояснительные надписи в иллюстрациях должны быть выполнены шрифтом Times New Roman Italic (греческие буквы – шрифтом Symbol Regular) размером 9. Тоновые изображения, размер которых не должен превышать 75х75 мм (фотографии и другие изображения, содержащие оттенки черного цвета), следует направлять в виде растровых графических файлов (форматов *.bmp, *.jpg, *.gif, *.tif) в цветовой шкале «оттенки серого» с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм). Штриховые рисунки (графики, блок-схемы и т.д.) следует представлять в «черно-белой» шкале с разрешением не менее 600 dpi. На графиках не нужно наносить линии сетки, а экспериментальные или расчетные точки (маркеры) без крайней необходимости не «заливать» черным. Штриховые рисунки, созданные при помощи пространственных программ MS Excel, MS Visio и др., следует представлять в формате исходного приложения (*.xls, *.vsd и др.). На обратной стороне ри-

сунка должны стоять порядковый номер, соответствующий номеру рисунка в тексте, фамилии авторов, название статьи.

Формулы вписываются четко. Шрифтовое оформление физических величин следующее: латинские буквы в светлом курсивном начертании, русские и греческие – в светлом прямом. Числа и единицы измерения – в светлом прямом начертании. Особое внимание следует обратить на правильное изображение индексов и показателей степеней. Если формулы набираются с помощью редакторов формул Equatn или Math Type, следить, чтобы масштаб формул был 100 %. Масштаб устанавливается в диалоговом окне «Формат объекта». В редакторе формул для латинских и греческих букв использовать стиль «Математический» («Math»), для русских – стиль «Текст» («Text»). Размер задается стилем «Обычный» («Full»), для степеней и индексов – «Крупный индекс / Мелкий индекс» («Subscript / Sub-Subscript»). Недопустимо использовать стиль «Другой» («Other»).

Необходимо избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статьи. Объем статьи не должен превышать 8 – 10 страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, и трех рисунков.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором (при наличии нескольких авторов, число которых не должно превышать пяти, – всеми авторами); в конце рукописи указывают полное название высшего учебного заведения (предприятия) и кафедры, дату отправки рукописи, а также полные сведения о каждом авторе (Ф.И.О., место работы, должность, ученая степень, звание, служебный и домашний адреса с почтовыми индексами, телефон и E-mail). Необходимо указать с кем вести переписку.

Цитируемую в статье литературу следует давать не в виде подстрочных сносок, а общим списком в порядке упоминания в статье с обозначением ссылки в тексте порядковой цифрой.

Перечень литературных источников рекомендуется не менее 10. Библиографический список оформляют в соответствии с ГОСТ 7.2 – 2003: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, полное название журнала, название статьи, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборников – фамилии и инициалы авторов, название сборника, название статьи, место издания, издательство, год издания, кому принадлежит, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, в библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

К статье должны быть приложены аннотация в двух экземплярах объемом не менее 1/2 страницы текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, а также ключевые слова.

В конце статьи необходимо привести на английском языке: название статьи, ФИО авторов, место их работы, аннотацию и ключевые слова.

Краткие сообщения должны иметь самостоятельное научное значение и характеризоваться новизной и оригинальностью. Они предназначены для публикации в основном аспирантских работ. Объем кратких сообщений не должен превышать двух страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, включая таблицы и библиографический список. Под заголовком в скобках следует указать, что это краткое сообщение. Допускается включение в краткое сообщение одного несложно-

го рисунка, в этом случае текст должен быть уменьшен. Приводить в одном сообщении одновременно таблицу и рисунок не рекомендуется.

Количество авторов в кратком сообщении должно быть не более трех. Требования к оформлению рукописей и необходимой документации те же, что к оформлению статей.

Корректуры статей авторам, как правило, не посылают.

В случае возвращения статьи автору для исправления (или при сокращении) датой представления считается день получения окончательного текста.

Статьи, поступающие в редакцию, проходят гласную рецензию.

Статьи журнала индексируются в РИНЦ и представлены на сайте СибГИУ (www.sibsiu.ru) в разделе Наука и инновации (Периодические научные издания (Журнал «Вестник СибГИУ»)).

Н а д н о м е р о м р а б о т а л и

Темлянцев М.В., *главный редактор*

Коновалов С.В., *ответственный секретарь*

Олендаренко Н.П., *ведущий редактор*

Бащенко Л.П., *ведущий редактор*

Неунывахина Д.Т., *ведущий редактор*

Темлянцева Е.Н., *верстка*

Олендаренко Е.В., *менеджер по работе с клиентами*