

Научный журнал

ВЕСТНИК

Сибирского
государственного
индустриального
университета

№ 4 (14), 2015

Основан в 2012 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

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

Редакционная коллегия

Е.В. Протопопов
(главный редактор)

М.В. Темлянец
(зам. главного редактора)

С.В. Коновалов
(отв. секретарь)

П.П. Баранов

Е.П. Волынкина

Т.П. Воскресенская

Г.В. Галевский

В.Ф. Горюшкин

В.Е. Громов

Л.Т. Дворников

С.М. Кулаков

С.И. Павленко

Т.В. Петрова

Л.Б. Подгорных

Е.В. Пугачев

Л.Ф. Михальцова

А.К. Соловьев

А.В. Феокистов

В.Н. Фрянов

В.П. Цымбал

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Павловец В.М., Герасимук А.В.** Расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании.....3
- Иванов Ю.Ф., Аксенова К.В., Никитина Е.Н., Громов В.Е., Корнет Е.В.** Закономерности структурных и фазовых превращений в стали с бейнитной структурой при пластической деформации.....6
- Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Евстропов Д.А., Новиков Р.Е.** Фазовый состав и микромеханические свойства покрытий системы Al – Ti – Cu, формируемых при жидкофазном взаимодействии на медных подложках.....9
- Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Пономарева И.А., Арисова В.Н.** Компьютерное моделирование контактного упрочнения алюминиевой прослойки магниево-алюминиевых цилиндрических сосудов.....12

ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

- Домрачев А.Н., Риб С.В.** Численное моделирование напряженно-деформированного состояния шахтных переемычек из бетонных блоков при воздействии ударной воздушной волны.....17
- Риб С.В., Басов В.В.** Методика численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий.....22
- Жуков Е.М., Лугинин И.А., Кропотов Ю.И., Зырянов К.А., Басов В.В.** Оценка влияния трещин на устойчивость пород в кровле подготовительных выработок угольных шахт.....26
- Риб С.В., Домрачев А.Н., Волошин В.А.** Оценка соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования.....30

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

- Оленников А.А., Осокин Е.В., Кирилов П.П., Гуца Е.Л., Николенко В.В.** Тепловизионная съемка для поиска скрытых дефектов в тепловой защите зданий.....36
- Осокин Е.В., Оленников А.А., Кирилов П.П., Николенко В.В., Гуца Е.Л.** Одна из причин недогрева жилых помещений в отопительный период года.....41

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

- Осипов Ю.К.** Жилой дом с интерьерно-ландшафтными зонами и элементами городского земледелия.....46
- Благиных Е.А., Карпачева А.А., Чередниченко Ж.М.** Использование техногенного сырья промышленных предприятий для получения декоративных материалов.....49

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Иванов А.С., Мещерин А.Т., Мещерина Ю.А., **Пугачев Е.В.**,
Пугачева Э.Е. Программируемый задатчик хода шахтной
подъемной машины.....52

ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Павлович Л.Б., Каневская А.М. Оценка экологического риска
от выбросов в атмосферу, поступающих из цеха производства
провода и метизов.....57

Коротков С.Г., Козлова Н.Е. Экологические аспекты добычи и
утилизации шахтного метана.....59

Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Рыбушкин А.А., Казими-
ров С.А., Коноз К.С. Комплексная переработка золошлаковых
отходов угольных котельных с получением микросфер и строи-
тельного песка на основе использования вихревых процессов 64

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ

К 70-летию Александра Марковича Глезера.....69

Николаю Филипповичу Якушевичу – 80 лет.....72

К 70-летию Владимира Ильича Базайкина.....74

Рефераты.....75

К сведению авторов.....83

Журнал зарегистрирован в Феде-
ральной службе по надзору в сфере
связи, информационных техноло-
гий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).

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

Адрес редакции:

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова,
42, Сибирский государственный
индустриальный университет
каб. 433 М

тел. 8-3843-74-86-28

http: www.sibsiu.ru

e-mail: redjizvz@sibsiu.ru

Адрес издателя:

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова,
42, Сибирский государственный
индустриальный университет
каб. 336 Г

тел. 8-3843-46-35-02

e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова,
42, Сибирский государственный
индустриальный университет
каб. 280Г

тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:

Объединенный каталог «Пресса
России» – 41270

Подписано в печать

21.12.2015 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл.печ.л. 4,7.

Уч.-изд.л. 5,2.

Тираж 300 экз.

Заказ № 858.

Цена свободная.

В.М. Павловец, А.В. Герасимук

Сибирский государственный индустриальный университет

РАСЧЕТ РЕЖИМА ПЕРЕКАТА ЗАРОДЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ОКАТЫШЕЙ, ОСНОВАННОЙ НА ПРИНУДИТЕЛЬНОМ
ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИИ

Получение сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает две основные стадии: формирование зародышей по форме, близкой к кубу, и создание оболочки окатышей доокомкованием их в рабочей зоне окомкователя [1, 2]. Для доокомкования необходима организация режима переката, который для зародышей кубической формы должен быть реализован на окомкователе с определенными параметрами работы: углом наклона тарели к горизонту и ее частотой вращения. Стабильность режима переката обеспечивается отсутствием скольжения зародыша по шихтовому гарнисажу (ШГ) в процессе работы окомкователя. Поэтому наряду с указанными параметрами можно использовать дополнительный фактор, влияющий на стабильность режима переката и доокомкования зародышей, в качестве которого может быть принят коэффициент трения зародышей о шихтовый гарнисаж. На этот параметр можно воздействовать путем изменения влажности и плотности шихты гарнисажа окомкователя.

Целью настоящей работы является расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании; анализ сил, действующих на кубический зародыш при его движении на гарнисаже, и определение параметров работы окомкователя.

В процессе вращения окомкователя зародыш удерживается на ШГ силами трения, и в отсутствии скольжения о шихтовый гарнисаж он может подняться на определенную высоту, задаваемую углом θ , находясь на некотором расстоянии от борта тарели.

На зародыш, находящийся в состоянии покоя, действуют силы, побуждающие его к движению (проекция силы тяжести на плоскость ШГ и центробежная сила), и сила, оказывающая сопротивление движению (сила трения). Разновидностью последней является сила трения покоя, которая действует от мо-

мента приложения сил, побуждающих к движению, до начала скольжения зародыша по ШГ. В процессе скольжения сила трения покоя переходит в силу трения скольжения. При граничном случае, когда скольжение зародыша по ШГ еще не началось и все силы скомпенсированы, их векторная сумма равна нулю.

При расположении зародыша у борта вращающейся тарели расстановка сил, действующих на зародыш, меняется, и его скольжение в направлении суммарной силы исключается из-за реакции борта. В связи с этим можно указать две схемы движения зародыша (рис. 1).

Первая схема движения характерна при нахождении зародыша в квадранте I при $\theta < 90^\circ$, когда единственной формой движения зародыша будет его перекат у борта тарели. При этом на него действует сила тяжести, которую целесообразно разложить на две составляющие: силу $F_{\tau Y}$, действующую параллельно плоскости тарели, и силу $F_{\tau Z}$, действующую перпендикулярно плоскости тарели. Центро-

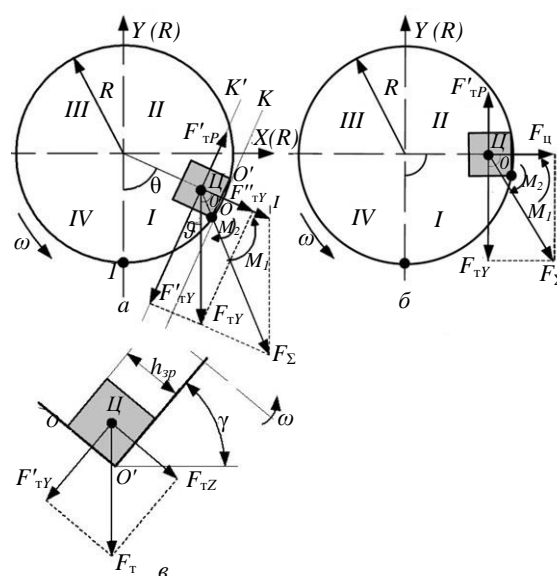


Рис. 1. Схема сил и моментов сил, действующих на зародыш, расположенный у борта тарели окомкователя в квадрантах I (а) и II (б), и при нахождении зародыша в точке I (в)

бежная сила $F_{ц}$ и сила трения покоя $F_{тр.п}$ зародыша действуют в направлении, противоположном силе F'_{mY} , поскольку в направлении этой силы, вероятно, будет происходить перекаат (рис. 1, а). Вторая схема движения характерна при нахождении зародыша в квадранте II при $\theta > 90^\circ$, при котором происходит его перекаат по ШГ тарели (рис. 1, б). Для первой схемы перекаат зародыша будет осуществляться по поверхности борта с одновременным скольжением по ШГ, когда угол φ , соответствующий наклону грани OO' к плоскости горизонта, превысит угол θ . При этом угле центр тяжести куба ($Ц$) переместится за границу опоры куба – грань, на которую он опирается на борту. При этом проекция точки $Ц$ центра масс зародыша на горизонтальную плоскость (точка $Ц'$) выйдет за опорную грань.

Если при соответствующих условиях зародыш достигнет второго квадранта тарели ($\theta > 90^\circ$) и будет двигаться по второй схеме, то условие устойчивости зародыша на ШГ выполняется при угле $\varphi < 45^\circ$ (рис. 2, а). Для этой схемы движения имеем $\varphi = \gamma$.

При углах наклона тарели окомкователя к горизонту более 45° условие устойчивости будет нарушено, и зародыш будет перекаатываться по ШГ. Это обусловлено тем, что при угле наклона более 45° центр ($Ц$) тяжести зародыша переместится за границу опоры зародыша – грань, на которую он опирается на ШГ. При этом проекция центра тяжести $Ц$ зародыша на горизонтальную плоскость (точка $Ц'$) (рис. 2, б) выйдет за опорную грань.

Для определения условий перекаата зародыша рассмотрим схему моментов сил, действующих на него. Для обеих схем движения способствовать перекаату зародыша будет проекция силы F_{TY} на прямую $K'-F'_{TY}$ (K' – линия, проведенная через центр тяжести $Ц$ и параллельная касательной K к борту тарели окомкователя), поскольку предполагаемое направление движения в начальной фазе будет вдоль борта тарели.

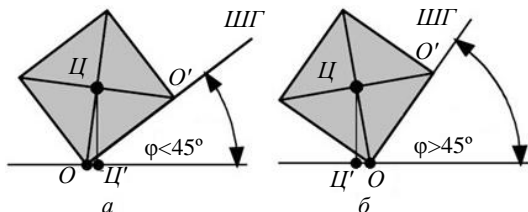


Рис. 2. Условие устойчивости зародыша на шихтовом гарнисаже:
а, б – положение центра тяжести зародыша при различном наклоне ШГ к горизонту

Проекция силы F_{TY} определяется по формуле

$$F'_{TY} = F_{TY} \cos \vartheta = mg \sin \gamma \sin \theta, \quad (1)$$

где ϑ – угол между силами F_{TY} и F'_{TY} .

Сила F'_{TY} создает вращающий момент относительно опорной грани:

$$M_1 = (mg \sin \gamma \sin \theta) h_{зп} / 2, \quad (2)$$

где $h_{зп}$ – высота зародыша, m – его масса.

Центробежная сила и сила трения создают моменты, противоположные по направлению моменту M_1 :

$$M_{F_{ц}} = m \omega^2 R h_{зп} / 2 = m (\pi n / 30)^2 R h_{зп} / 2; \quad (3)$$

$$M_{F_{тр.п}} = (\mu_{тр.п} mg \cos \gamma) h_{зп} / 2;$$

здесь ω – угловая скорость вращающейся тарели; n – частота вращения; $\mu_{тр.п}$ – коэффициент трения покоя.

Дополнительный момент, противоположный по направлению моменту M_1 , будет создавать проекция силы F_{TY} , направленная перпендикулярно борту:

$$F''_{TY} = (mg \sin \gamma) \cos \theta. \quad (4)$$

Ее момент вычисляется как

$$M_{F''_{TY}} = [(mg \sin \gamma) \cos \theta] h_{зп} / 2. \quad (5)$$

Сумма моментов сил определяется по выражению

$$M_2 = M_{F_{ц}} + M_{F_{тр.п}} + M_{F''_{TY}}. \quad (6)$$

Зародыш начнет перекаатываться, когда $M_1 > M_2$. Для определения угла θ , на который должна повернуться тарель, чтобы зародыш начал перекаатываться по борту, приравняем эти моменты и составим равенство с учетом формул (2) – (5):

$$(mg \sin \gamma \sin \theta) h_{зп} / 2 = m \omega^2 R h_{зп} / 2 + (\mu_{тр.п} mg \cos \gamma) h_{зп} / 2 + [(mg \sin \gamma) \cos \theta] h_{зп} / 2. \quad (7)$$

После преобразований получим

$$g \sin \gamma \sin \theta = \omega^2 R + \mu_{тр.п} g \cos \gamma + (g \sin \gamma) \cos \theta. \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно угла θ , находим

$$\theta = \pi/2 - \arctg[\{-g\mu_{тр.п} \cos\gamma - \omega^2 R + (-g^2(\mu_{тр.п}^2 + 2) \cos\gamma - 2Rg\mu_{тр.п}\omega^2 \cos\gamma - \omega^4 R^2 + 2g^2)^{0,5}\} / \{2 \sin\gamma\}]. \quad (9)$$

Расчеты угла θ для тарели радиусом $R = 2,5$ м при заданных значениях коэффициента трения $\mu_{тр.п}$, угла наклона тарели γ и частоты вращения n представлены в таблице.

Полученные результаты позволяют констатировать, что с ростом коэффициента $\mu_{тр.п}$ угол θ увеличивается, и перекат зародыша возможен в квадранте II. Если возможности воздействия на режим переката с помощью параметра $\mu_{тр.п}$ ограничены, то аналогичный эффект дает увеличение частоты вращения тарели, что хорошо согласуется с опытными данными. Если появилась производственная необходимость, то с увеличением угла γ наклона тарели к горизонту, напротив, можно снизить величину угла θ и организовать перекал зародышей в первом квадранте тарели.

Выводы. Выполнен расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зароды-

шеобразовании; проведен анализ сил, действующих на кубический зародыш при его движении на гарнисаже, что позволило определить параметры работы и расширить технологические возможности тарельчатого окомкователя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов В.М. Исследование тепловых режимов напыления влажной шихты, предназначенных для принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 6. С. 9 – 13.
2. Павлов В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 15 – 20.

© 2015 г. В.М. Павлов, А.В. Герасимук
Поступила 29 сентября 2015 г.

Результаты расчета угла θ

γ , градус	Значение угла θ , градус, при частоте вращения n , об/мин							
	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mu_{тр.п} = 0,6$								
30	30	133	144	153	160	165	170	180
34	34	58	73	98	125	145	157	164
38	30	34	42	56	84	120	145	158
42	21	23	26	31	39	57	91	130
46	17	18	20	22	26	32	44	71
50	15	15	16	18	20	23	29	39
53	13	14	15	16	17	20	23	29
$\mu_{тр.п} = 0,8$								
30	180	180	180	180	180	180	180	180
34	169	171	180	180	180	180	180	180
38	154	159	162	166	169	180	180	180
42	110	124	137	148	156	162	167	172
46	47	56	71	94	121	141	153	161
50	28	30	35	43	57	83	116	141
53	21	23	25	29	36	47	68	104
$\mu_{тр.п} = 1,0$								
30	180	180	180	180	180	180	180	180
34	180	180	180	180	180	180	180	180
38	166	168	170	180	180	180	180	180
42	148	153	158	162	166	169	180	180
46	90	105	122	138	149	157	163	168
50	40	46	56	73	99	126	145	156
53	27	30	34	41	54	77	109	136

УДК 669.112.227:539.4.015

Ю.Ф. Иванов^{1,2}, К.В. Аксенова³, Е.Н. Никитина³, В.Е. Громов³, Е.В. Корнет³¹Научно-исследовательский Томский политехнический университет²Институт сильноточной электроники СО РАН³Сибирский государственный индустриальный университет**ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРНЫХ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СТАЛИ С БЕЙНИТНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ***

Стали с бейнитной структурой в настоящее время нашли широкое применение в автомобилестроении, в энергетической отрасли, в производстве рельсов, высокопрочных труб для нефтегазовой промышленности и многих других отраслях промышленности [1 – 3]. Бейнит является, пожалуй, наиболее сложной структурой, формирующейся в углеродистой стали при термической обработке. Это обусловлено протеканием процесса бейнитного превращения в области температур, где отсутствует диффузия атомов железа и легирующих элементов, но происходит интенсивное перераспределение атомов углерода [4, 5]. Эти процессы приводят к формированию фаз, существенно отличающихся содержанием углерода: α -фазы (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки железа); γ -фазы (твердый раствор на основе ГЦК кристаллической решетки железа); карбидной фазы (цементит). Эксплуатация изделий из стали с бейнитной структурой (особенно в экстремальных условиях) часто приводит к пластическому формоизменению материала, сопровождающемуся преобразованием его фазового состава и дефектной субструктуры.

Целью настоящей работы являлось обнаружение закономерностей эволюции фазового состава и дефектной субструктуры стали с бейнитной структурой в условиях пластической деформации до разрушения.

В качестве материала исследования использовали конструкционную сталь 30X2H2MФА [6]. Аустенитизацию стали проводили при температуре 960 °С в течение 1,5 ч; охлаждение осуществляли на воздухе. Деформацию стали проводили одноосным сжатием (со скоростью примерно $7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$) столбиков размерами 4×4×6 мм на испытательной машине типа «Инстрон». Исследования эволюции дефектной субструктуры и фазового состава стали

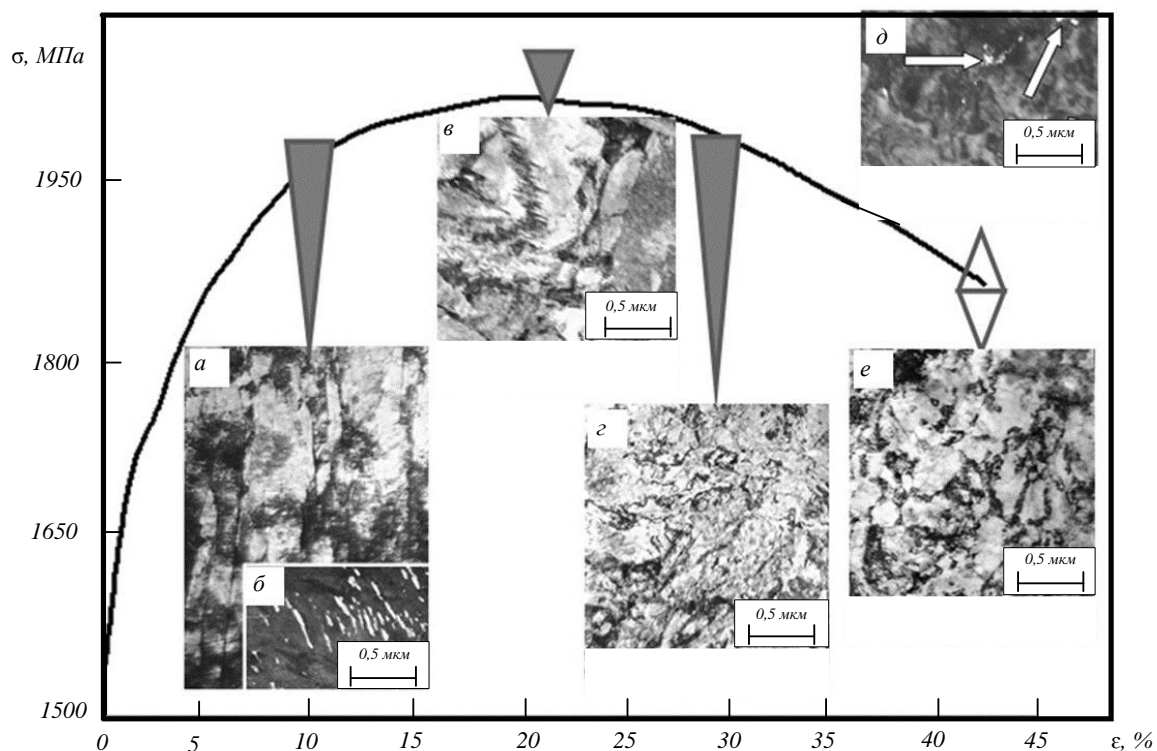
осуществляли методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг (прибор ЭМ-125). В качестве параметров, характеризующих деформационное поведение выделений, использовали средние размеры, плотность и объемную долю частиц карбидной фазы.

Характерный вид кривой деформационного упрочнения стали приведен на рисунке. Математическая обработка кривой деформационного упрочнения показывает, что зависимость $\sigma - \epsilon$ имеет параболический вид и описывается полиномом четвертой степени. Дифференцирование зависимости $\sigma - \epsilon$, позволяющее определить коэффициент деформационного упрочнения стали θ , позволило выделить две стадии деформационного упрочнения: стадию с параболической зависимостью $\sigma - \epsilon$ (или убывающим коэффициентом упрочнения) и стадию со слабо изменяющимся отрицательным значением коэффициента упрочнения. Переход от первой стадии ко второй наступает в интервале степени деформации 19 – 25 %. Разрушение испытываемых образцов стали происходило при $\epsilon \approx 0,43$ путем хрупкого скола с образованием нескольких крупных осколков. Очевидно, что деформационное поведение образцов обусловлено изменением фазового состава и дефектной субструктуры материала. Характерные изображения структуры стали, формирующейся на различных этапах деформации, выявленные при исследовании материала методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг, представлены на рисунке.

Выполненный качественный и количественный анализ параметров структуры деформированной стали позволил выявить следующие закономерности в изменении фазового состава и дефектной субструктуры материала.

Во-первых, пластическая деформация одноосным сжатием стали 30X2H2MФА с бейнитной структурой сопровождается многоплановым изменением состояния дефектной суб-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-32-51228).



Кривая деформационного упрочнения стали с бейнитной структурой и характерные электронно-микроскопические изображения структуры, формирующейся при указанных стрелками степенях деформации:

а, в, з, е — изображения в светлом поле, *б, д* — изображения в темном поле, полученные в рефлексе $[031]Fe_3C$ (на поз. *д* стрелками указаны частицы цементита)

структуры стали, а именно, увеличением скалярной плотности дислокаций и объема материала, содержащего деформационные микродвойники; уменьшением средних продольных размеров фрагментов и увеличением степени их разориентации; увеличением количества концентраторов напряжений и амплитуды изгиба-кручения кристаллической решетки материала. Выполненные исследования позволили высказать предположение о смене механизма деформирования стали: на первой стадии нагружения ($\epsilon \leq 18\%$) деформирование осуществляется преимущественно движением дислокаций; на второй стадии ($18\% < \epsilon < 43\%$) — движением дислокаций и двойникованием.

Во-вторых, пластическая деформация одноосным сжатием стали 30X2H2MФА с бейнитной структурой сопровождается эволюцией карбидной фазы материала. Выполненные исследования показывают, что карбидные превращения в бейнитной структуре протекают в рамках двух конкурирующих процессов, а именно, наблюдается растворение частиц цементита, образовавшихся в процессе бейнитного превращения в объеме пластин феррита, и выделение в процессе «деформационного старения» частиц цементита на элементах дислокационной субструктуры. Одновременно с трансформированием карбидной фазы наблю-

дается допревращение остаточного аустенита, инициированное деформированием стали и приводящее к увеличению объемной доли частиц цементита, расположенных вдоль границ раздела пластин феррита.

Выполненный количественный анализ параметров структуры стали позволяет проследить за перераспределением атомов углерода в структуре стали при пластической деформации. При использовании методических разработок, подробно изложенных в работах [7 – 11], установлено, что с ростом степени деформации количество атомов углерода, расположенных в твердом растворе на основе α -железа и формирующих частицы цементита, расположенные на внутрифазных границах (границах зерен, субзерен, пластин феррита), и количество атомов углерода, расположенных на дислокациях, увеличиваются; количество атомов углерода, формирующих частицы цементита, лежащие в объеме пластин бейнита, и расположенных в твердом растворе на основе γ -железа, снижается [12, 13].

Выводы. Пластическая деформация одноосным сжатием стали 30X2H2MФА с бейнитной структурой сопровождается преобразованием материала на нескольких структурных уровнях: на уровне дефектной подсистемы (формирование микродвойников, эволюция

дислокационной субструктуры); на уровне карбидной подсистемы (растворение исходных и выделение новых частиц цементита); на атомном уровне (перераспределение атомов углерода между частицами карбидной фазы, кристаллической решеткой α -фазы и дефектной подсистемой). В совокупности указанные процессы определяют поведение стали при пластической деформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пикеринг Ф.Б. Физическое металлостроение и разработка сталей / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1982. – 184 с.
2. Матросов Ю.И., Литвиненко Д.А., Голованенко С.А. Сталь для магистральных газопроводов. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.
3. Павлов В.В., Годик Л.А., Корнева Л.В., Козырев Н.А., Кузнецов Е.П. Железнодорожные рельсы из бейнитной стали // Металлург. 2007. № 4. С. 51 – 53.
4. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металлостроении. – М.: Металлургия, 1973. – 584 с.
5. Курдюмов В.Г., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. – М.: Наука, 1977. – 236 с.
6. Приданцев М.В., Давыдова Л.Н., Тамарина А.М. Конструкционные стали: Справочник. – М.: Металлургия, 1980. – 288 с.
7. Иванов Ю.Ф., Попова Н.А., Гладышев С.А., Козлов Э.В. Взаимодействие углерода с дефектами и процессы карбидообразования в конструкционных сталях. – В кн.: Сб. трудов «Взаимодействие дефектов кристаллической решетки и свойства». – Тула: изд. Тульского политехн. ун-та, 1986. С. 100 – 105.
8. Иванов Ю.Ф., Козлов Э.В. Морфология цементита в мартенситной фазе стали 38ХНЗМФА // ФММ. 1991. № 10. С. 203, 204.
9. Иванов Ю.Ф., Козлов Э.В. Анализ кинетики карбидообразования при самоотпуске и низкотемпературном отпуске конструкционной стали. – В кн.: Сб. трудов «Дефекты кристаллической решетки и свойства металлов и сплавов». – Тула: изд. Тульского политехн. ун-та, 1992. С. 90 – 94.
10. Иванов Ю.Ф., Козлов Э.В. Многоступенчатая схема мартенситного превращения низко- и среднеуглеродистых малолегированных сталей // Металловедение. 2000. № 11. С. 33 – 37.
11. Иванов Ю.Ф., Корнет Е.В., Козлов Э.В., Громов В.Е. Закаленная конструкционная сталь: структура и механизмы упрочнения. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. – 174 с.
12. Громов В.Е., Никитина Е.Н., Иванов Ю.Ф. Эволюция карбидной и дефектной подсистем стали с бейнитной структурой при деформации // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2015. № 3. С. 49 – 56.
13. Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Никитина Е.Н. Эволюция карбидной подсистемы конструкционной стали с бейнитной структурой при деформации одноосным сжатием // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2015. Т. 12. № 2. С. 227 – 230.

© 2015 г. Ю.Ф. Иванов, К.В. Аксенова, Е.Н. Никитина, В.Е. Громов, Е.В. Корнет
Поступила 05 октября 2015 г.

В.Г. Шморгун, О.В. Слаутин, Д.А. Евстропов, Р.Е. Новиков

Волгоградский государственный технический университет

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Al – Ti – Cu, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ЖИДКОФАЗНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ НА МЕДНЫХ ПОДЛОЖКАХ*

Комплексная технология получения интерметаллидных покрытий на поверхности металлов, обладающих высокими тепло- и электропроводностью, но низкой износостойкостью, разработанная в Волгоградском государственном техническом университете [1 – 3], включает следующие последовательные операции: сварку взрывом многослойных заготовок из исходных пластичных металлов, образующих при взаимодействии интерметаллидные фазы; их последующее формоизменение обработкой давлением, позволяющее получать изделия требуемой геометрической формы; термическую обработку (ТО) в условиях контактного плавления для формирования на межслойных границах многослойной (матрица – интерметаллид) или однородной структуры с заданным химическим и фазовым составом.

Целью настоящей работы являлось исследование фазового состава и микромеханических свойств покрытий системы Al – Ti – Cu, формируемых при жидкофазном взаимодействии на медных подложках.

Исследования проводили на трехслойном слоистом композите (СКМ) состава медь М1 + титан ВТ1-0 + алюминий АД1 (толщина слоев 5,0, 0,3 и 0,6 мм соответственно), полученном путем последовательной сварки взрывом пластины меди М1 с пластинами титана ВТ1-0 и алюминия АД1.

Металлографические исследования образцов выполняли на модульном оптическом микроскопе Olympus BX-61 с фиксацией микроструктур цифровой камерой DP12, измерения микротвердости – на микротвердомере ПМТ-3 методом восстановленного отпечатка при массе груза 50 и 100 г, ТО осуществляли в печи SNOL 8.2/1100. Фазовый состав диффузионной зоны (ДЗ) оценивали при сопоставлении данных, полученных с помощью дифрактометра ДРОН-3 и растрового двухлучевого электронного микроскопа системы Versa 3D.

Металлографические исследования показали, что после сварки межслойная граница Cu – Ti имеет волнообразный профиль с локальными включениями оплавленного металла твердостью 4,5 – 6,0 ГПа, а граница Ti – Al – безволновой. Структура сформировавшихся при сварке взрывом участков оплавленного металла представляет собой механическую смесь меди и интерметаллидных включений, имеющих состав, близкий к 77 – 79 % Cu и 18 – 21 % Ti (ат.). Согласно диаграмме состояния Ti – Cu этот состав соответствует интерметаллиду TiCu₄.

Формирование ДЗ при температуре 910 °С происходит в условиях жидкофазного взаимодействия как на границе Al – Ti, так и на границе Cu – Ti. При выдержке в течение 30 мин рост зоны переплава в сторону меди приводит к выравниванию границы Cu – ДЗ (рис. 1, область III). Основными структурными составляющими сформировавшейся на поверхности меди зоны переплава меди и титана являются структурно свободные интерметаллиды β TiCu₄ и TiCu₂ (табл. 1, рис. 1, б, в, зоны анализа 3 – 5), на границе с непрореагировавшим титаном обнару-

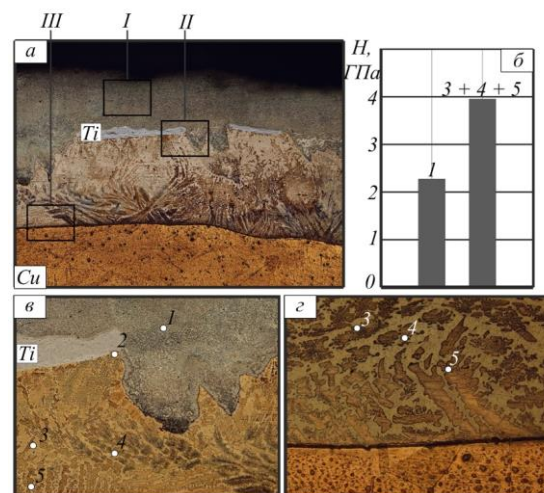


Рис. 1. Структура ДЗ (а) ($\times 50$) и микротвердость (б) в зонах анализа после ТО при 910 °С в течение 0,5 ч, область взаимодействия II продуктов реакции Al – Ti и Cu – Ti (в) ($\times 50$), граница III Cu – ДЗ (г) ($\times 200$)

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00418).

Результаты точечного энергодисперсионного микроанализа и качественного рентгеноструктурного анализа

Элемент	Содержание, % (ат.), в зоне анализа				
	1	2	3	4	5
Al	78,3	1,3	0	0	0
Ti	20,5	41,0	30,5	26,7	21,6
Cu	1,2	57,7	69,5	73,3	78,4
Достоверно идентифицированные фазы	TiAl ₃ , Al(Ti)	Ti ₃ Cu ₄	TiCu ₂	TiCu ₂ , TiCu ₄	TiCu ₄

жена фаза Ti₃Cu₄. Продуктом взаимодействия титана с расплавом алюминия (рис. 1, а, область I) является двухфазный слой (твердый раствор и TiAl₃) (табл. 1, рис. 1, а, б, зона анализа I).

Увеличение времени ТО приводит к полному «растворению» титана и к взаимодействию находящихся в жидком состоянии продуктов реакций Al – Ti и Cu – Ti. В результате неравновесной кристаллизации образуется крайне неоднородная по толщине ДЗ структура (рис. 2), верхний слой которой представляет собой смесь фаз TiAl₃ и CuTi₂Al₅ (табл. 2, рис. 2, б, зона анализа I). Ниже располагаются: однофазная прослойка CuTi₂Al₅ (табл. 2, рис. 2, б, зона анализа 2), двухфазная прослойка CuTi₂Al₅ + Al₄Cu₉ (табл. 2, рис. 2, б, зона анализа 3) и прилегающий к меди слой переменной концентрации, в котором идентифицированы фазы Ti₂Cu₃(Al) (табл. 2, рис. 2, б, в, зона анализа 4), Ti₃Cu₄(Al) и TiCu₂(Al) (табл. 2, рис. 2, б, в, зона анализа 5), TiCu₄ (табл. 2, рис. 2, б, в, зона анализа б).

Уменьшить структурную неоднородность ДЗ позволило двукратное снижение толщины слоя алюминия и использование двойного отжига по режиму 700 °С в течение 2 ч и 910 °С в течение 1 ч. После первого отжига на титане был получен двухфазный слой с объемной долей TiAl₃ примерно 92 %. Второй отжиг обеспечил полное растворение титана и взаимодействие продуктов реакции процесса кон-

тактного плавления с TiAl₃. Его результатом явилось формирование на поверхности меди покрытия со слоистой структурой, фазовый состав которого практически идентичен полученному при ТО по режиму 910 °С в течение 1 ч. Поверхностный слой покрытия состоит из смеси фаз TiAl₃ и CuTi₂Al₅ (табл. 3, рис. 3, а, зоны анализа 1, 2). Ниже располагается двухфазная прослойка CuTi₂Al₅ + Al₄Cu₉ (табл. 3, рис. 3, а, зона анализа 3). Основными структурными составляющими покрытия являются твердые растворы на основе Ti₃Cu₄ и TiCu₂ (табл. 3, рис. 3, б, в,

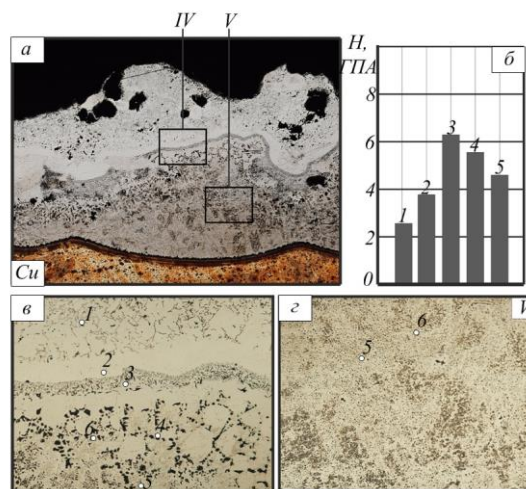


Рис. 2. Структура ДЗ (а) ($\times 50$) и микротвердость (б) в зонах анализа после ТО при 910 °С в течение 1 ч, области IV (с) ($\times 200$) и V (д) ($\times 200$)

Результаты точечного энергодисперсионного микроанализа и качественного рентгеноструктурного анализа

Элемент	Содержание, % (ат.), в зоне анализа					
	1	2	3	4	5	6
Al	74,3	58,1	42,8	8,1	7,6	0
Ti	24,3	24,6	29,4	32,2	32,4	19,8
Cu	1,4	17,3	27,8	59,7	60,0	80,2
Достоверно идентифицированные фазы	TiAl ₃	CuTi ₂ Al ₅	CuTi ₂ Al ₅ , Al ₄ Cu ₉	Ti ₂ Cu ₃ (Al)	Ti ₃ Cu ₄ (Al), TiCu ₂ (Al)	TiCu ₄

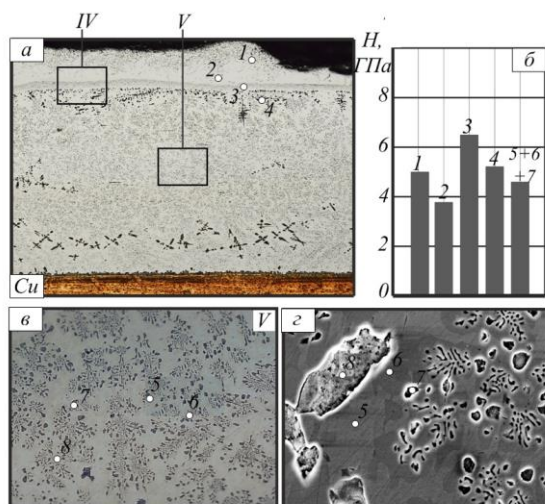


Рис. 3. Структура ДЗ (а) (×50) и микротвердость (б) в зонах анализа после ТО при 700 °С в течение 2 ч и 910 °С в течение 1 ч, области V (в) (×500) и VI (г) (×5000)

зоны анализа 5, 6), эвтектика $TiCu_2 + TiCu_4$ (рис. 4, в) и $TiCu_4$ (табл. 5, рис. 3, б, в, зоны анализа 7, 8).

Выводы. Экспериментально установлено, что в конечный состав покрытия, формируемого контактным плавлением нанесенных сваркой взрывом на медную основу слоев титана и алюминия, могут входить не только фазы, близкие по концентрации к эвтектике, но и практически любые соединения данной системы металлов. Назначаемые режимы термической обработки на первом ее этапе должны гарантировать жидкофазное взаимодействие только на межслойной границе $Ti - Al$ и получение на титане двухфазного слоя с объемной долей $TiAl_3$ более 90 %, а на втором – жидкофазное взаимодействие на границе $Cu - Ti$, полное растворение титана и взаимодействие продуктов реакции процесса контактного плавления с $TiAl_3$. Основными структурными составляющими покрытия являются твердые растворы на основе купридов титана $Ti_3Cu_4(Al)$ и $TiCu_2(Al)$, эвтектика $TiCu_2 + TiCu_4$ и $TiCu_4$, а поверхностный слой состоит из сме-

си фаз $TiAl_3$ и $CuTi_2Al_5$ и двухфазной прослойки $CuTi_2Al_5 + Al_4Cu_9$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крашенинников С.В., Кузьмин С.В., Лысак В.И. Упрочнение поверхностей стальных деталей путем формирования интерметаллидсодержащих покрытий // Перспективные материалы. 2004. № 2. С. 83 – 88.
2. Шморгун В.Г., Артемьев А.А., Антонов А.А., Евстропов Д.А., Бондаренко Ю.И. Структура и трибологические свойства покрытий на основе купридов титана // Известия ВолГТУ. Сер. Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. 2014. № 23 (150). С. 30 – 32.
3. Патент 2202456 РФ. Способ получения износостойкого покрытия на поверхности стальных деталей / Крашенинников С.В., Кузьмин С.В., Лысак В.И., Долгий Ю.Г.; ВолГТУ. Заявл. 27.08.2001. Оpubл. 20.04.2003.
4. Шморгун В.Г., Слаутин О. В., Евстропов Д.А., Таубе А.О. Диффузионные процессы на межслойной границе сваренного взрывом трехслойного композита системы $Cu - Ti$ // Изв. вуз. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2014. № 4. С. 36 – 39.
5. Гуревич Л.М. Механизмы структурообразования при взаимодействии титана с расплавом алюминия // Известия ВолГТУ. Серия Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. № 6 (109). С. 6 – 13.

© 2015 г. В.Г. Шморгун, О.В. Слаутин, Д.А. Евстропов, Р.Е. Новиков
Поступила 5 октября 2015 г.

Т а б л и ц а 3

Результаты точечного энергодисперсионного микроанализа и качественного рентгеноструктурного анализа

Элемент	Содержание, % (ат.), в зоне анализа							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Al	73,5	58,3	42,8	8,1	8,5	7,7	0	0
Ti	25,4	23,6	29,4	32,2	40,8	28,4	19,7	17,8
Cu	1,1	18,1	27,8	59,7	50,7	63,9	80,3	82,2
Достоверно идентифицированные фазы	$TiAl_3$	$CuTi_2Al_5$	$CuTi_2Al_5, Al_4Cu_9$	$Ti_2Cu_3(Al)$	$Ti_3Cu_4(Al)$	$TiCu_2(Al)$	$TiCu_4$	$TiCu_4$

Л.М. Гуревич, Ю.П. Трыков, И.А. Пономарева, В.Н. Арисова

Волгоградский государственный технический университет

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО УПРОЧНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОСЛОЙКИ МАГНИЕВО-АЛЮМИНИЕВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОСУДОВ*

Герметичное соединение разнородных сосудов и труб часто осуществляется посредством тонкостенных композиционных переходников, в которых под действием рабочего внутреннего давления возникает двухосное растяжение и реализуется эффект контактного упрочнения. Этот эффект заключается в увеличении разрушающих напряжений вследствие сдерживания радиальных деформаций мягкой прослойки на границе с твердым металлом и ужесточением напряженного состояния прослойки [1].

Установлено, что объемное напряженное состояние в поперечной мягкой прослойке в цилиндрическом сосуде (трубе или баллоне) вследствие действия контактного эффекта приводит к упрочнению прослойки, степень упрочнения зависит от относительной толщины прослойки; величины механической неоднородности и напряженно-деформированного состояния основного металла, скорости нагружения и т. п. В случае двухосного растяжения объемное напряженное состояние также зависит от толщины стенки сосуда и положения прослойки относительно его оси. Правильное использование эффекта контактного упрочнения позволяет изменять прочность соединения в диапазоне от прочности металла мягкой прослойки до прочности основных свариваемых металлов.

В работе [2] для проведения расчета прочности соединения с мягкой прослойкой в цилиндрической тонкостенной трубе, работающей под действием внутреннего давления, использован ряд допущений:

- изотропность материалов с одинаковыми упругими константами;
- существенно более высокий предел текучести основных металлов (σ_T^T) по сравнению с пределом текучести металла мягкой прослойки (σ_T^M);
- толщина стенок сосуда значительно меньше внутреннего диаметра этого сосуда;

– радиальные напряжения в прослойке и основных металлах равны нулю, а тангенциальные и осевые равномерно распределены по сечению;

– коэффициент Пуассона (μ) составляет 0,5 при упругой и пластической стадиях деформирования.

Для этих условий было получено, что течение металла прослойки начнется при интенсивности тангенциальных напряжений (σ_φ)

$$\sigma_\varphi = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_T^M.$$

Дальнейшее повышение давления приводит к увеличению интенсивности напряжений в основном металле при неизменной интенсивности напряжений в прослойке. Сдерживание радиальных деформаций на контактной поверхности приводит к ужесточению напряженного состояния, т.е. к контактному упрочнению.

Предельные средние осевые напряжения σ_B^z , соответствующие началу вязкого разрушения прослойки, можно определить по формуле [2]

$$\sigma_B^z = \sigma_B^M \left[\frac{\pi}{4} + \frac{1+2\gamma}{3\sqrt{3}\chi(1+\gamma)} \right]$$

где σ_B^M – временное сопротивление металла мягкой прослойки; $\gamma = (r_{\max} + r_{\min})/r_{\min}$; r_{\min} и r_{\max} – внутренний и наружный радиусы цилиндра; $\chi = h/(r_{\max} - r_{\min})$ – относительная толщина прослойки.

Критическая относительная толщина прослойки χ_b , при которой достигается равнопрочность соединения, равна

$$\chi_b = \frac{1+2\gamma}{3\sqrt{3} \left(mK_B - \frac{\pi}{4} \right) (1+\gamma)},$$

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00418).

где $m = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n} + \frac{1}{n^2}}}$; n – отношение осевых

напряжений к тангенциальным в основном металле; $K_b = \sigma_b^t / \sigma_b^m$ – коэффициент механической неоднородности.

Напряженное состояние с $n = 0,5$ реализуется только в длинном сосуде и на достаточном удалении от днищ и различного рода галтелей. В элементах трубы помимо растягивающих усилий действуют изгибающие моменты, осевые напряжения вблизи днищ и галтелей увеличиваются примерно в 1,8 раза [3]. Учитывая это, а также смягчение напряженного состояния твердого металла вблизи контактной поверхности, рекомендуется расчет величины χ_b вести для $n = 1$ и учитывать, в случае необходимости, действие изгибающих моментов [3]

$$\chi_b = \frac{1 + 2\gamma}{3\sqrt{3} \left(K_b - \frac{\pi}{4} \right) (1 + \gamma)}.$$

При проектировании сварных соединений необходимо учитывать, что с уменьшением относительной толщины прослойки увеличивается прочность соединения, но возрастает опасность хрупких разрушений.

Значительное количество вынужденных допущений упрощает расчет геометрических параметров сварного узла, но снижает его точность. Развитие компьютерной техники позволяет для повышения достоверности расчетов использовать пакеты программ, основанные на методе конечных элементов.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния толщины алюминиевой прослойки на ее поведение в магниево-алюминиевых композиционных баллонах высокого давления при нормальной температуре методом моделирования с использованием пакета компьютерных программ SIMULIA/Abaqus.

Методом конечных элементов с использованием модели Мизеса в модуле Abaqus/Explicit (использующем явную схему интегрирования для сильно нелинейных переходных быстротекущих динамических процессов) программного комплекса SIMULIA/Abaqus компании Dassault Systèmes Simulia Corp (USA) проводили моделирование процессов деформирования и разрушения короткого цилиндрического баллона со сферическими днищами ($r_{\min} = 50$ мм и $r_{\max} = 60$ мм, длина баллона 120 мм) из трехслойного магниево-алюминиевого композита МА2-1-АД1-АМг6. Ранее проведенная верификация показала бли-

зость расчетных и экспериментально получаемых значений пластической деформации, что подтверждает возможность применения программного комплекса SIMULIA/Abaqus для моделирования поведения слоистых металлических композитов при различных схемах деформирования [4 – 7]. Для расчета упрочнения материалов в результате пластического деформирования использовали модель пластичности Джонсона–Кука [8], согласно которой предел текучести G_Y можно определить по формуле

$$\sigma_Y = \left(A + B \varepsilon_p^n \right) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p^n}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right],$$

где A – предел текучести неупрочненного материала; B – коэффициент упрочнения при деформировании; ε_p – эффективная пластическая деформация; T_m – температура плавления; T_r – комнатная температура; C – коэффициент зависимости упрочнения от скорости деформирования; n, m, ε_0 – параметры модели; $\dot{\varepsilon}_p$ и $\dot{\varepsilon}_0$ – первые производные ε_p и ε_0 по времени.

Модель Джонсона–Кука позволяет получить семейство кривых деформирования материала при различных температурах и скоростях деформирования. Для описания разрушения материала использовали модель разрушения Джонсона–Кука [9], по которой разрушение ячейки происходит при равенстве параметра поврежденности D единице

$$D = \frac{1}{\varepsilon_f} \sum_i \Delta \varepsilon_p^i,$$

где $\Delta \varepsilon_p^i$ – приращение эффективной пластической деформации в конечном элементе на i -ом шаге интегрирования по времени.

Оценку величины ε_f проводили по формуле

$$\varepsilon_f = \left[D_1 + D_2 \exp \left(D_3 \frac{p}{\sigma_{ef}} \right) \right] \left(1 + D_4 \ln \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_0} \right) \times \left(1 + D_5 \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right),$$

где $D_1 \dots D_5$ – табличные параметры материала; σ_{ef} – эффективное напряжение; p – давление в рассматриваемой ячейке.

Коэффициенты [8, 10, 11] для модели пластичности Джонсона–Кука

Материал	A, МПа	B, МПа	m	n	$\dot{\epsilon}_0$, с ⁻¹	T _m , К	T _r , К
Сплав АМг6	218,3	704,6	0,930	0,62	1	873	293
Алюминий АД1	60,0	6,4	0,859	0,62	1	933	293
Сплав МА2-1	100,0	380,0	1,040	0,28	1	773	293

Значения параметров для выбранных моделей деформирования и разрушения материалов приведены в табл. 1 и 2 [10, 11] (в связи с низкой скоростью деформирования ($\dot{\epsilon}_p \leq 0,0025$ с⁻¹) ее влияние не учитывали).

Цилиндрическая форма баллона позволяет задавать его элементы в виде деформируемых осесимметричных тел [12] и рассчитывать напряжения и деформации в радиальном сечении, что значительно сокращает время моделирования. Относительную толщину прослойки АД1 варьировали от $\chi_{\text{АД1}} = 0,05$ (0,5 мм) до $\chi_{\text{АД1}} = 0,60$ (6,0 мм), толщины стенок АМг6 и МА2-1 равнялись 10 мм. Прочность связей между слоями основных металлов и мягкой прослойки соответствовала прочности мягкой прослойки. Размер сторон квадратных ячеек конечно-элементной сетки в элементах композита из АМг6 и МА2-1 составлял 0,5 мм. Размер прямоугольных ячеек в мягкой прослойке АД1 в радиальном направлении соответствовал размерам ячеек в прилегающих слоях АМг6 и МА2-1, а в осевом направлении составлял 1/12 толщины мягкой прослойки. Максимальное моделируемое внутреннее давление 65 МПа.

Проведенное моделирование показало изменение характера деформирования и разрушения основных слоев композиционного баллона в зоне мягкой прослойки АД1 при варьировании ее относительной толщины (рис. 1). Разрушение при моделировании во всех случаях происходило по прослойке алюминия, уменьшение ее относительной толщины со-

проваждалось все большим вовлечением в пластическую деформацию прилегающих слоев АМг6.

Полученное при моделировании изменение характера деформирования и разрушения основных слоев композита при варьировании относительной толщины мягкой прослойки АД1 показало, что с уменьшением толщины прослойки до 0,30 мм разрушение происходило по слою МА2-1 (рис. 2).

Моделирование процессов деформирования композиционного баллона показало, что размер алюминиевой прослойки композита АМг6–АД1–МА2-1 влияет на прочностные характеристики композиционного баллона: уменьшение относительной толщины $\chi_{\text{АД1}}$ приводит к значительному росту разрушающих давлений (от 42 МПа при $\chi_{\text{АД1}} = 0,6$ до 63 МПа при $\chi_{\text{АД1}} = 0,05$) (рис. 3).

Рост внутреннего давления на шагах моделирования, предшествующих разрушению, при уменьшении толщины алюминиевой прослойки приводит к увеличению максимально допустимой радиальной деформации баллона: при $\chi_{\text{АД1}} = 0,6$ прирост радиуса перед разрушением не превышает 2,2 мм, а при $\chi_{\text{АД1}} = 0,05$ Δr_{max} уже составляет 6,8 мм. Полученные при моделировании кривые деформация – давление ($\Delta r = f(p_i)$) при нагружении внутренним давлением баллона из композита МА2-1–АД1–АМг6 с различными относительными толщинами $\chi_{\text{АД1}}$ прослойки приведены на рис. 4.

Коэффициенты [10, 11] для модели разрушения Джонсона–Кука

Материал	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	$\dot{\epsilon}_0$, с ⁻¹	T _m , К	T _r , К
Сплав АМг6	0,178	0,3890	-2,2460	0	0	1	873	293
Алюминий АД1	0,071	1,4280	-1,1420	0,0097	0	1	933	293
Сплав МА2-1	-0,350	0,6025	-0,4537	0,2060	7,2	1	773	293

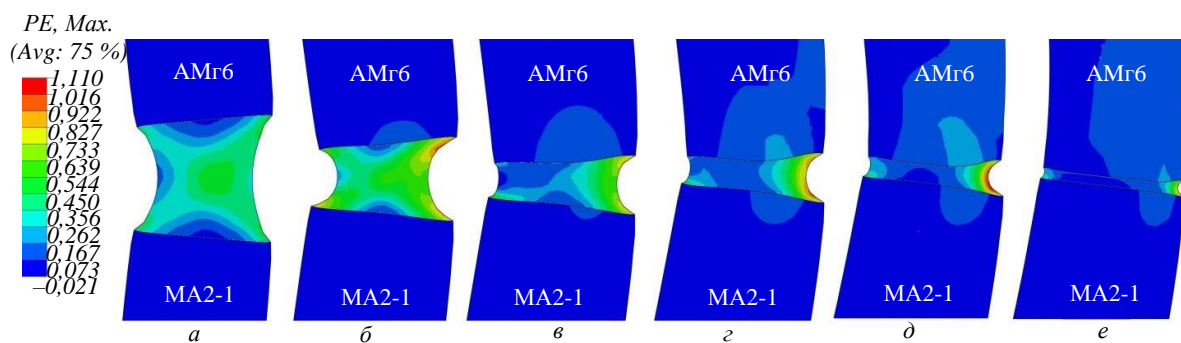


Рис. 1. Изменение характера деформирования слоев и прослоек в композите МА2-1–АД1–АМг6 на шаге, предшествующем разрушению, при варьировании относительной толщины мягкой прослойки:

а – $\chi_{AD1} = 0,60$; б – $\chi_{AD1} = 0,30$; в – $\chi_{AD1} = 0,20$; г – $\chi_{AD1} = 0,15$; д – $\chi_{AD1} = 0,10$; е – $\chi_{AD1} = 0,05$

Проведенные исследования показали возможность определения прочности цилиндрического баллона из композита МА2-1–АД1–АМг6 при варьировании относительной толщины прослойки АД1 с помощью пакета SIMULIA/Abaqus с меньшими допущениями, чем сделанные в работе [2], в частности, с недостаточным учетом влияния тангенциальных напряжений.

Выводы. Методом конечно-элементного компьютерного моделирования определена зависимость внутреннего давления, приводящего к разрушению короткого цилиндрического баллона из композита МА2-1–АД1–АМг6, и максимально допустимой радиальной деформации от толщины алюминиевой прослойки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Проничев Д.В. Композиционные переходники: монография. – Волгоград: РПК «Политехник», 2007. – 329 с.
2. Бакши О.А., Богомолова А.С., Седых В.С. О рациональном проектировании сварных сосудов и труб из разнородных материалов // Сварочное производство. 1973. № 9. С. 3 – 6.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
4. Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Волчков В.М., Киселев О.С., Даненко В.Ф., Писарев С.П. Моделирование процессов деформирования слоистых титано-алюминиевых композитов в процессе изгиба // Изв. ВолгГТУ. Проблемы материаловедения, прочности и сварки в машиностроении. 2012. Вып. 6. № 9 (96). С. 11 – 15.
5. Гуревич Л.М., Волчков В.М., Трыков Ю.П., Киселев О.С. Моделирование процесса глубокой вытяжки трубчатых переходников из слоистых титаноалюминиевых пластин // Изв. вуз. Цветная металлургия. 2014. № 4. С. 30 – 35.
6. Шморгун В.Г., Гуревич Л.М., Богданов А.И., Слаутин О.В., Таубе А.О., Евстропов Д.А. Моделирование процессов деформирования трехслойных никель-алюминиевых композитов при прокатке и изгибе // Изв. ВолгГТУ. Проблемы материаловедения, прочности и сварки в машиностроении. 2013. Вып. 8. № 15 (118). С. 22 – 26.

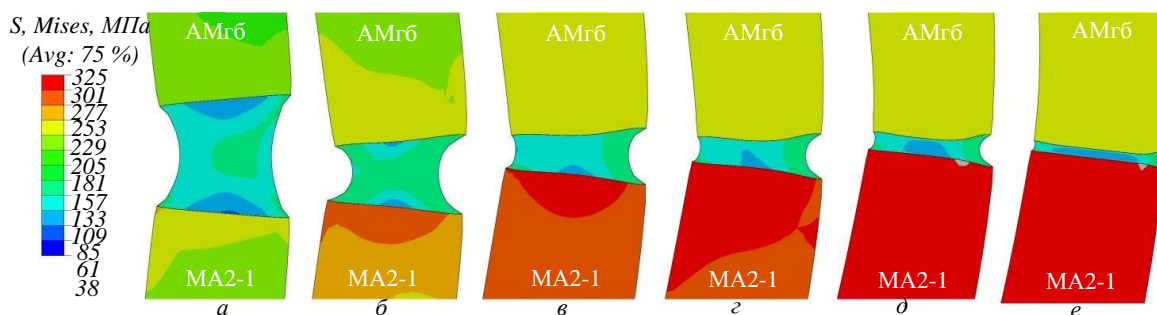


Рис. 2. Изменение напряжений Мизеса в ячейках слоя композита МА2-1–АД1–АМг6 на шаге, предшествующем разрушению, при варьировании относительной толщины мягкой прослойки:

а – $\chi_{AD1} = 0,60$; б – $\chi_{AD1} = 0,30$; в – $\chi_{AD1} = 0,20$; г – $\chi_{AD1} = 0,15$; д – $\chi_{AD1} = 0,10$; е – $\chi_{AD1} = 0,05$

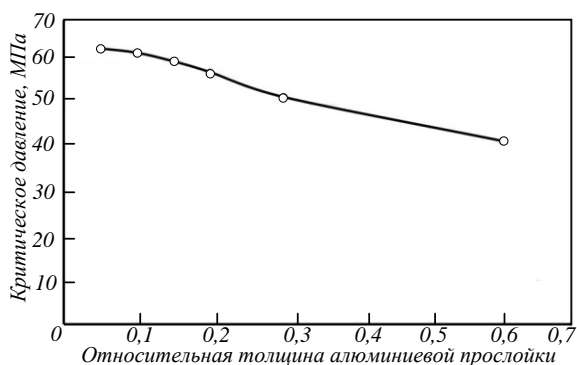


Рис. 3. Зависимость разрушающего внутреннего давления от относительной толщины алюминиевой прослойки

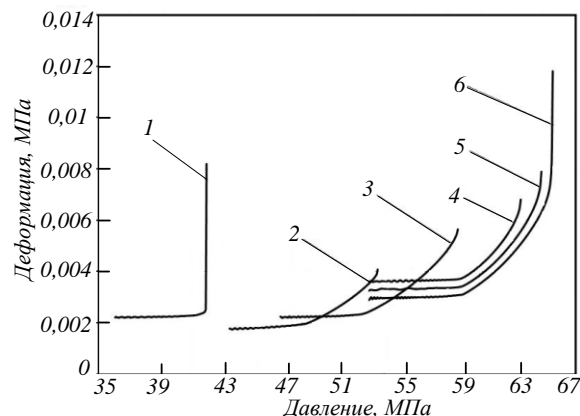


Рис. 4. Зависимость радиальной деформации цилиндрического баллона из композита МА2-1-АД1-АМг6 от давления при варьировании относительной толщины мягкой прослойки:

1 – $\chi_{\text{АД1}} = 0,60$; 2 – $\chi_{\text{АД1}} = 0,30$; 3 – $\chi_{\text{АД1}} = 0,20$;
4 – $\chi_{\text{АД1}} = 0,15$; 5 – $\chi_{\text{АД1}} = 0,10$; 6 – $\chi_{\text{АД1}} = 0,05$

7. Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Киселев О.С. Моделирование методом конечных элементов поведения титано-алюминиевого композита с мягкой прослойкой // Изв. ВолгГТУ. Проблемы материаловедения, прочности и сварки в машиностроении. 2013. Вып. 8. № 15 (118). С.6 – 9.
8. Johnson G.R., Cook W.H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. – In book: Proc. of 7th Symposium on Ballistics. Hague, Netherlands, 1983. P. 541 – 547.
9. Johnson G.R., Cook W.H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures, and pressures // Engineering Fracture Mechanics. 1985. Vol. 21. P. 31 – 48.
10. Кузькин В.А., Михалюк Д.С. Применение численного моделирования для идентификации параметров модели Джонсона-Кука при высокоскоростном деформировании алюминия // Вычисли-

тельная механика сплошных сред. 2010. Т. 3. № 1. С. 32 – 43.

11. Giraud E., Rossi F., Germain G., Outeiro J.C. Constitutive Modelling of AZ31B-O Magnesium Alloy for Cryogenic Machining. – In book: 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (CIRP CMMO), (CIRP CMMO), Italy (2013). DOI : 10.1016/j.procir.2013.06.144.
12. Abaqus 6.12. Analysis User`s Manual. Vol. 1. Part 1. Introduction, spatial modeling and execution. Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence, RI, USA, 2012. – 831 p.

© 2015 г. Л.М. Гуревич, Ю.П. Трыков,
И.А. Пономарева, В.Н. Арисова
Поступила 14 декабря 2015 г.

А.Н. Домрачев, С.В. Риб

Сибирский государственный индустриальный университет

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ШАХТНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ИЗ БЕТОННЫХ БЛОКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ

В зарубежной практике для быстрого возведения шахтных перемычек достаточно распространенным является использование бетонных блоков в сочетании с различными средствами механизации их укладки [1 – 3]. Для оценки способности такой конструкции сопротивляться воздействию ударной воздушной волны (УВВ) было выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния блочных перемычек с использованием метода конечных элементов [4, 5] при статическом давлении 0,3 МПа. Для выполнения расчетов использован программный комплекс Auroga Z88 [6, 7] с соответствующей моделью перемычки. В качестве объемного конечного элемента принят hexahedron (шестигранник) № 1, который обеспечивает вычисление деформации и напряжения в пространстве, используя линейные функции формы (linear shape functions). Этот элемент является трансформируемым, следовательно, он может иметь форму клина или даже косоугольную форму. Трансформация является изопараметрической. В основе модели перемычки лежит ее разделение на элементы, представленные двумя типами материалов – бетоном (тело боков) и раствором, заполняющим межблочные швы (рис. 1).

Для упрощения моделирования укладка блоков выполнена в один ряд без перевязки (зигзагообразного расположения) швов. Крепление блоков с кровлей, почвой и боками выработки осуществляется путем заполнения пустот цементным раствором; для упрощения выполнения моделирования вруб отсутствует, а точки контакта раствора и массива по периметру перемычки рассматриваются как жесткое закрепление с нулевым возможным смещением. Размер блока принят равным 270×300×470 мм, что примерно соответствует типовому блоку Concrete block seal или Omega block seal (США) [2, 3]. Так как перемычка имеет трапециевидную форму, было принято допущение о возможности обработки (обтесывания, подрубки) отдельных бетонных блоков без изменения их прочностных свойств.

При выполнении моделирования использование процедуры meshing признано нецелесообразным, так как эта процедура «размывает» картину напряжений и затрудняет рассмотрение каждого блока как отдельной структурной единицы перемычки. Структура и элементный состав перемычки приведены на рис. 2, результаты моделирования – на рис. 3 и 4.

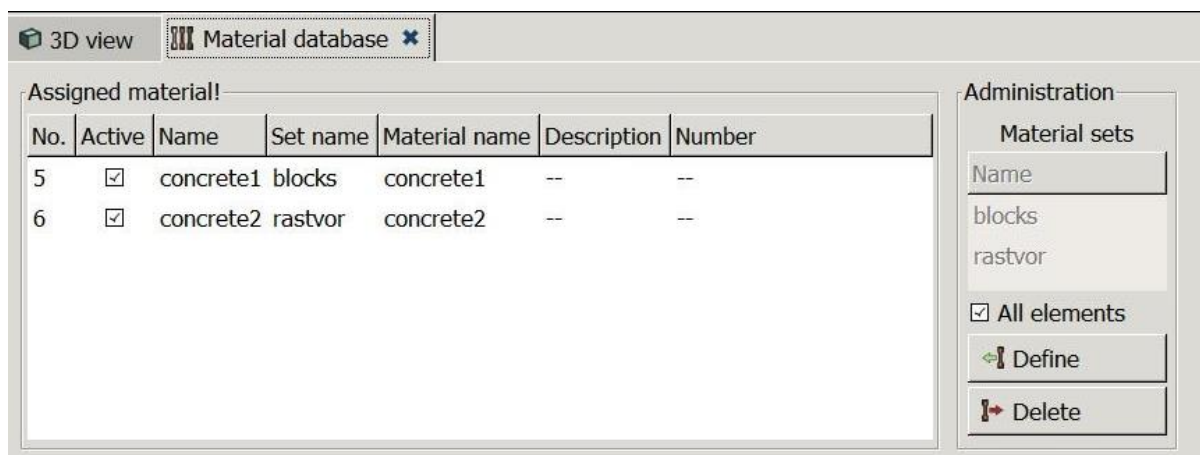


Рис. 1. Представление перемычки путем разделения элементов по типу материала

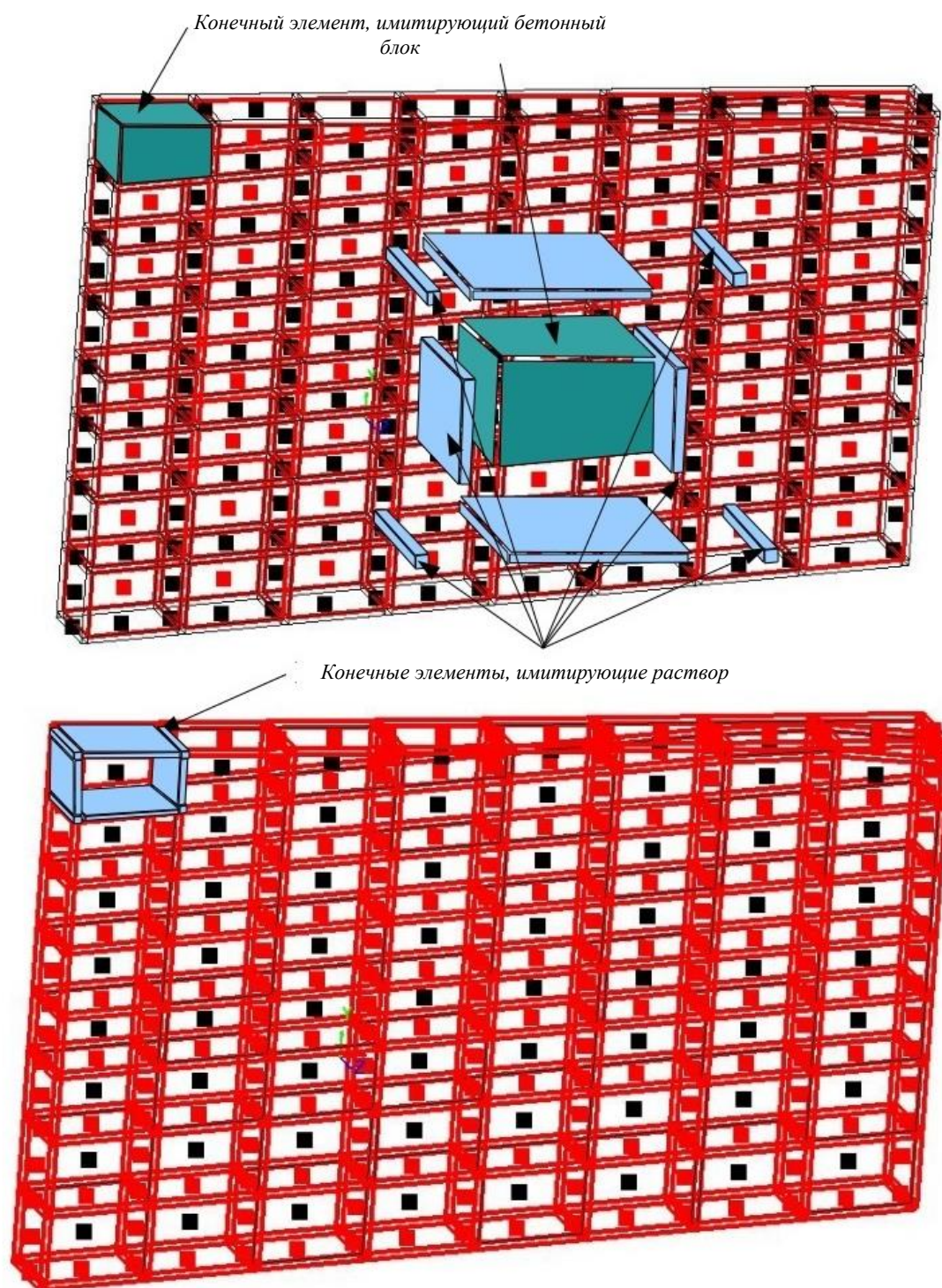


Рис. 2. Схема представления перемычки из бетонных блоков для моделирования воздействия УВВ методом конечных элементов

Согласно рис. 3, наибольшие смещения наблюдались в центральной части перемычки. По аналогии с распределением смещений наибольшие напряжения наблюдаются по центру верхней и нижней частей периметра перемычки, несколько меньшие – по центру линий контакта с боковыми породами (рис. 3). Если рассматривать напряжения, возникающие в отдельных блоках, то в целом картина распределения напряжений остается аналогичной,

т.е. более всего нагружены блоки в центре и в середине контактных линий, ограничивающих периметр перемычки (рис. 4).

В зарубежной практике для повышения прочности перемычек из бетонных блоков широко используются центральные пилястры, однако полученное в результате моделирования распределение напряжений не позволяет сделать однозначного заключения об их возможной эффективности.

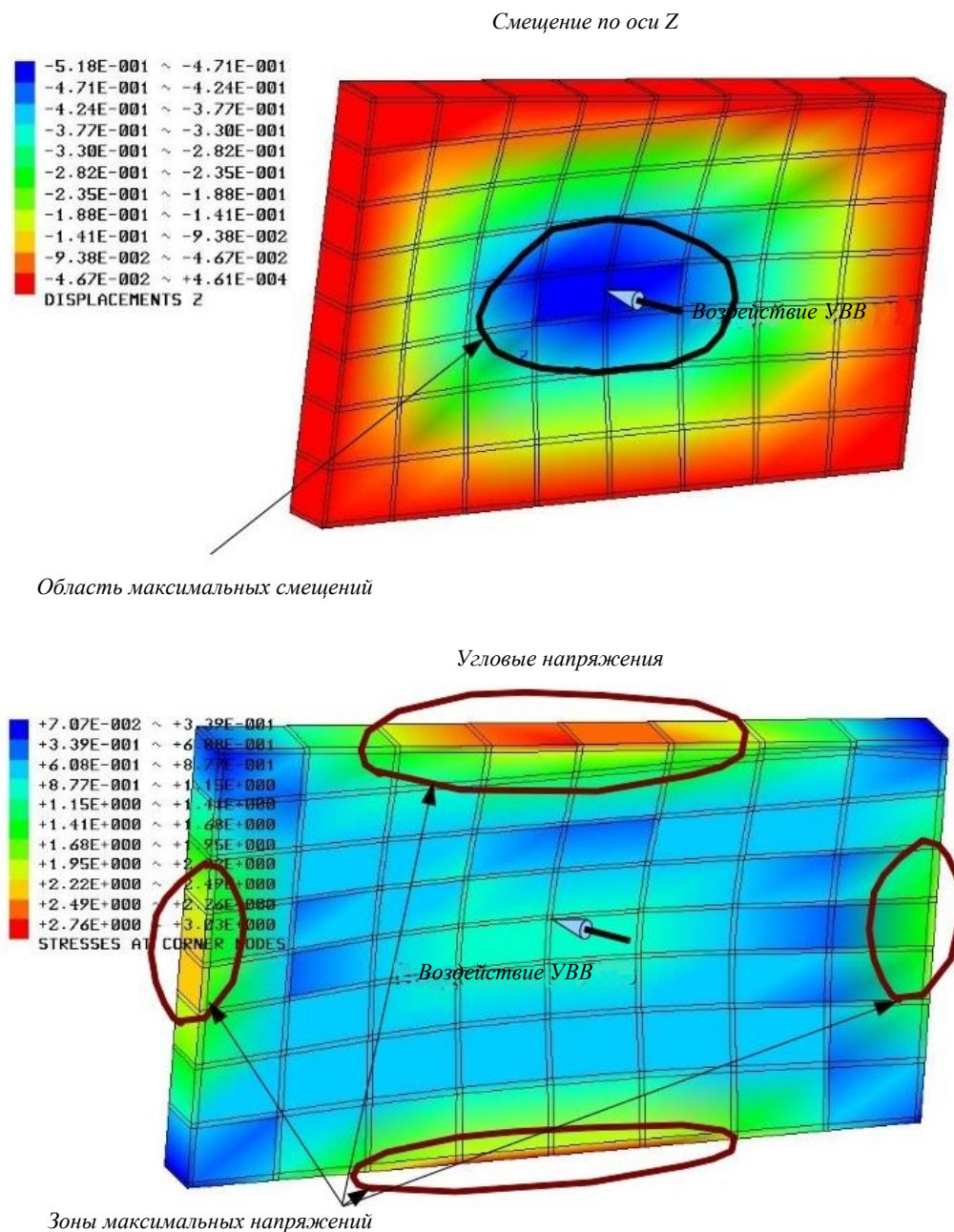


Рис. 3. Результаты моделирования воздействия УВВ на перемычку из бетонных блоков

Повышение устойчивости может быть достигнуто за счет закрепления анкерами, забуренными в массив и заделанными в тело перемычки (в блоки) там, где проявляются наибольшие напряжения.

Все вышеизложенное позволяет сделать предварительный вывод о нецелесообразности использования перемычек из бетонных блоков в качестве взрывоустойчивых, даже при увеличении их толщины за счет выкладки нескольких рядов или изменения направления укладки блоков. Кроме того, увеличение числа блоков может привести к росту продолжительности возведения перемычки, что лишает

эту конструкцию одного из наиболее существенных преимуществ.

Определенный интерес может представлять использование перемычки из бетонных блоков в качестве быстровозводимой опалубки для бетонных перемычек, когда опалубка и «тело» перемычки рассматриваются как единое целое. Такой подход позволит уменьшить толщину бетонной перемычки и несколько сократить время ее возведения. Для детальной оценки эффективности подобного решения в дальнейшем рекомендуется выполнить моделирование перемычки смешанной конструкции с использованием метода конечных элементов.

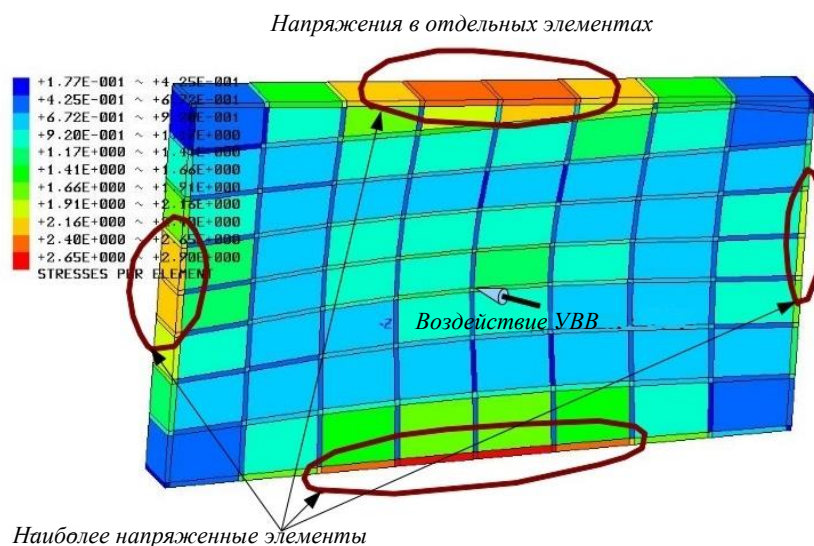


Рис. 4. Моделирование напряжений в отдельных блоках перемычки

Обобщая результаты моделирования, можно сделать следующие выводы. Программа *Auroга Z88* показала себя как достаточно гибкий и эффективный инструмент моделирования напряженно-деформированного состояния перемычек при воздействии УВВ. В части методологии моделирования использование процедуры *meshing* позволяет увеличить число конечных элементов и формально повысить точность моделирования. Однако для перемычек из бетонных блоков оно признано нецелесообразным, так как «размывает» картину напряжений и затрудняет рассмотрение каждого бетонного блока как отдельной структурной единицы.

Наиболее сложным и трудоемким этапом моделирования (особенно в случае перемычки из бетонных блоков) является подготовка исходной «геометрической» модели перемычки и окружающего массива, и использование моделей (модифицируемых наборов данных) на основе табличных процессоров является только частичным решением проблемы. Подготовка данных средствами 3D-моделирования (в частности *OpenSCAD*) оказалось малоэффективной, так как при экспорте модели в формат **.stl* не удастся сохранить разделение на фрагменты, которым позже могут быть заданы различные прочностные свойства. Решение проблемы может потребовать разработки специализированного программного комплекса на языке высокого уровня, который по исходным данным формировал (корректировал) бы детальный текстовый файл структуры модели, далее импортируемый в *Auroга*.

При выполнении расчетов воздействие УВВ представлялось в виде статической нагрузки (с пересчетом через коэффициент динамической

нагрузки (DLF), равный 2). Определение этого коэффициента представляет отдельную научную задачу, которая не решалась при выполнении проведенных исследований. Значительный интерес может представлять проверка полученных результатов с использованием альтернативного подхода (например, по критерию откольной прочности).

Сравнительная оценка прочности перемычек с врубом и безврубовых перемычек пока является весьма неоднозначной, так как закрепление безврубовой перемычки по периметру путем задания нулевых смещений в узлах контакта с массивом практически эквивалентно врубу; при этом имитация влияния адгезионной прочности путем задания отдельного слоя (набора элементов) с заданными свойствами является отдельной научной задачей, для решения которой может использоваться подход, основанный на использовании контактных элементов [8]. С другой стороны, имеет место быть задание ненулевых смещений в узлах контакта перемычки с массивом по периметру, полученных при решении двумерной задачи [9,10]. 2D-моделирование производится численным методом конечных элементов. Определяются смещения в окрестности горной выработки, которые потом являются граничными условиями на контактах перемычки и массива. В свою очередь существует сложность при оценке прочности перемычки из бетонных блоков, когда связь между блоком и раствором задается как жесткая, что не соответствует адгезионному сцеплению бетонных блоков и раствора, а также при моделировании напряженно-деформированного состояния бетонных перемычек, армированных стальным

прутком [11] (в части оценки связи между усиливающими элементами и телом перемычки).

Выводы. По результатам численного моделирования установлено, что шахтные перемычки из бетонных блоков не имеют явных преимуществ перед монолитными безврубными перемычками в условиях шахт России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. MSHA Approval Number: 120M-01.2 120-psi STRATACRETE Plug Seal Installation Manual (2006 г). – [Электронный ресурс] URL: www.msha.gov/Seals/Approved/120PSI/120M-14.0.pdf
2. Guide for SOLID CONCRETE BLOCK SEALS – 2006. – [Электронный ресурс] URL: www.msha.gov/Seals/SCBlockGuide.pdf
3. Guide for EXISTING ALTERNATIVE SEALS (Alternative Seals Built Prior to the Issuance of Program Information Bulletin (PIB) № P06-16, Dated July 19, 2006). – [Электронный ресурс] URL: www.msha.gov/Seals/ExistingAltGuide.pdf
4. Н о р р и Д., де Ф р и з Ж. Введение в метод конечных элементов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
5. К л о в а н и ч С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. – Запорожье: Изд. «Світ геотехніки», 2009. – 400 с.
6. Z88 AURORA User Manual. – [Электронный ресурс] URL: ftp://ftp.uni-bayreuth.de/pub/uni-bayreuth/LS-CAD/Z88AuroraV1/manual_Z88AuroraV1/userguide.pdf.
7. Z88 AURORA Theory Manual. – [Электронный ресурс] URL: <http://www.z88.de/z88aurora/download/theoryguide.pdf>
8. Chen W.W. & Wang Q.J. (2008). A Numerical Model for the Point Contact of Dissimilar Materials Considering Tangential Traction. *Mechanics of Materials*. Vol. 40. № 11, pp.936-948, ISSN: 0167-6636.
9. Р и б С.В., Б а с о в В.В. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач численного моделирования неоднородных угольных целиков // Вестник СибГИУ, 2014. № 4 (10). С. 11 – 15.
10. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряжённо-деформированного состояния неоднородных угольных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 367 – 372.
11. Д о м р а ч е в А.Н., С м ы ш л я е в С.А., Л е г а е в В.Р. Численное моделирование взаимодействия ударной воздушной волны с шахтными перемычками при использовании различных средств усиления // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. 2015. № 7.

© 2015 г. А.Н. Домрачев, С.В. Риб
Поступила 2 декабря 2015 г.

С.В. Риб, В.В. Басов

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Околоштрековые целики являются основным элементом технологии отработки угольных пластов длинными очистными забоями на угольных шахтах. Обеспечение устойчивости целиков при различных горно-геологических характеристиках пластов и вмещающих пород в быстро меняющейся горнотехнической ситуации требует применения научно-обоснованной методики прогноза состояния напряженно-деформированного массива горных пород. Отсутствие методики прогноза изменяющихся параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) целиков, предназначенных для охраны подготовительных выработок, в определенной степени создает трудности в обеспечении безопасности горных работ на этапах проектирования, строительства и эксплуатации шахт.

На кафедре геотехнологии СибГИУ на протяжении 20 последних лет накоплен большой

опыт исследования параметров неоднородных угольных целиков [1 – 5]. Проводятся исследования строения, физико-механических и технологических свойств, НДС и характера деформирования горных пород при подземной разработке угольных пластов. В рамках этих направлений разработана методика исследований НДС неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий. В основе методики лежит численный метод конечных элементов (МКЭ) [6], реализация которого осуществляется с помощью комплекса программ CoalPillar. Последний предназначен для двумерного численного моделирования МКЭ процессов изменения смещений, напряжений и деформаций под влиянием природных полей напряжений и горных выработок в углепородном массиве. Структура методики представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура методики численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков

В настоящей работе предлагается методика исследований, основанная на анализе горно-геологической и горнотехнической информации, результатах шахтных инструментальных измерениях и численном моделировании НДС массива горных пород методом конечных элементов. Ниже предлагается поэтапное рассмотрение этой методики.

На первом этапе исследований изучается состояние горных работ и проводится анализ горной графической документации для выявления факторов, определяющих состояние горных пород в окрестности исследуемой горной выработки, охраняемой неоднородным угольным целиком. В большинстве случаев основной причиной аварий при подземной разработке угольных пластов является несоответствие параметров целиков усложняющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям обрабатываемых участков. Часто такая ситуация приводит к деформированию целиков, что негативно отражается на состоянии горной выработки. Для выявления причин возникновения аварийных ситуаций уместно воспользоваться причинно-следственной диаграммой Исикавы [7]. Установленные факторы, влияющие на эксплуатационное состояние горной выработки, охраняемой неоднородным угольным целиком, скомпонованы в следующие группы: проектирование, технология, лю-

ди, состояние массива осадочных горных пород. Пример модифицированной диаграммы Исикавы при выявлении причин, влияющих на состояние горной выработки, представлен на рис. 2.

На втором этапе осуществляется группирование горно-геологических, горнотехнических факторов и геометрических параметров горного массива.

Согласно программе исследований [1], был проведен анализ влияния на формирование исходного поля напряжений в массиве горных пород и устойчивость угольных целиков следующих факторов:

- горно-геологических (геологические нарушения, породные прослойки, минерализованные включения, угол падения пласта, глубина ведения работ и др.);
- горнотехнических (ширина целика, размер горной выработки и др.).

Выделение факторов в группы необходимо для учета влияния каждого при разработке геометрической модели.

Третий этап необходим для разработки схемы дискретизации исследуемой области в массиве горных пород. Создается геометрическая двумерная модель системы выработок в расчетном поле напряжений. Первым шагом решения задачи МКЭ является дискретизация (разбиение) рассматриваемой области на ко-

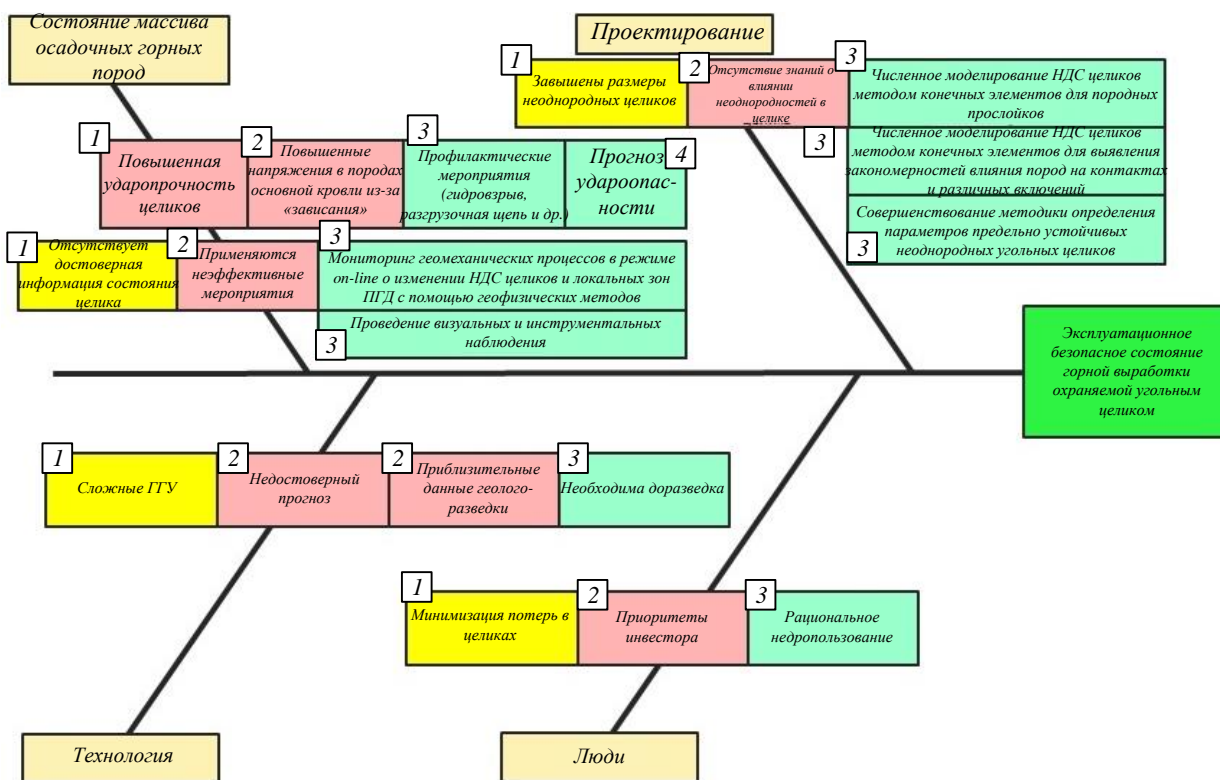


Рис. 2. Модифицированная диаграмма выявления причин с рекомендуемыми путями их устранения: 1 – проблема; 2 – причина; 3 – решение

нечные элементы (треугольники). Такое разбиение несет геометрическую информацию о заполнении области элементами, с каждым из которых связано определенное количество численных значений, необходимых для последующих вычислений (построение матриц, решение систем алгебраических уравнений, визуальное представление результатов и т. д.). Для любой задачи разбиение должно содержать сведения, необходимые на всех этапах решения. К этим сведениям относятся [8]:

- геометрическая информация (разбиение должно включать как можно более точное описание геометрического покрытия области, в которой проводятся вычисления);

- информация об интерполяции конечными элементами (разбиение должно определять выбранный способ интерполяции – число узлов в элементе, их список, их положения и т.д.);

- физическая информация (описание характеристик пород, нагрузок, сил, и т. д., при этом величины, содержащиеся в разбиении, должны допускать реализацию заданных краевых условий).

При построении геометрической модели обосновываются параметры разбиения области на горизонтальные слои, соответствующие условиям реального слоистого массива (см. рис. 1, методика, шаг 3а). Для детального моделирования с учетом геометрии горных выработок и элементов крепи подлежит обоснованию разбиение модели вертикальными линиями (методика, шаг 3б). Уменьшение размера конечного элемента служит основой для по-

вышения точности получаемых результатов [9].

На четвертом этапе обеспечивается адекватность математической модели условиям реального массива. Для достоверного прогноза параметров НДС с использованием комплекса программ CoalPillar и учетом всего многообразия горно-геологических условий и техногенного воздействия применяется настройка входных параметров математической модели по результатам мониторинга смещений горных пород. Общая схема мониторинга смещений горных пород включает оборудование наблюдательной станции (рис. 3) и измерение смещений реперов, установленных в кровле выработки (методика, шаг 4а). Результаты измерений оформляются в виде графиков.

Сущность настройки математической модели состоит в использовании результатов мониторинга в качестве граничных условий на контуре выработки с последующей корректировкой деформационных свойств пород в модели (методика, шаг 4б).

При необходимости выполняются специальные шахтные замеры и лабораторные исследования по выявлению особенностей деформирования и свойств пород и угля с учетом неоднородного строения массива.

На пятом этапе проводится численное моделирование НДС массива горных пород. Моделируется массив горных пород со слоистой структурой, конкретными условиями залегания пород и пластов с размещенными горными выработками.

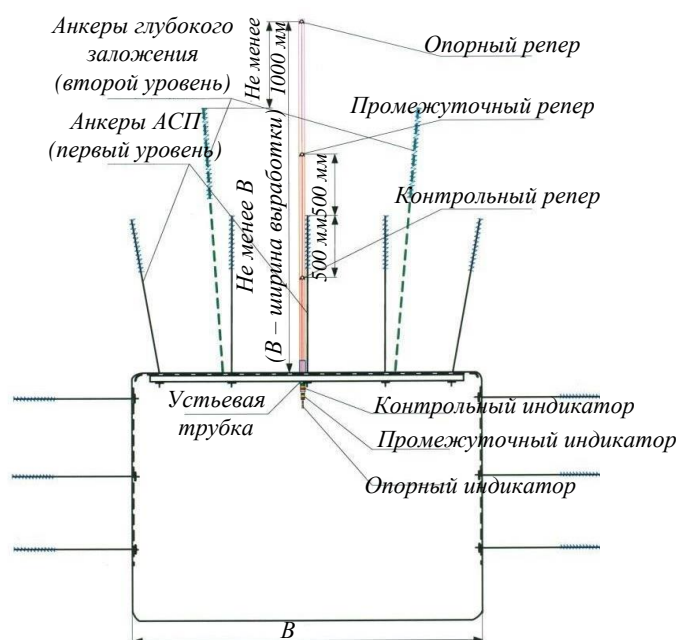


Рис. 3. Схема наблюдательной станции для измерения смещений пород кровли выработки

В процессе моделирования определяются геомеханические параметры с учетом изменения свойств пород и угля во времени. В зависимости от содержания решаемых задач имеется возможность выбрать один из следующих вариантов решения: упругое решение нетронутого массива; упругое решение массива с выработкой; упруго-пластическое решение с выработкой; упруго-пластическое решение с выработкой и с учетом времени. Существует возможность редактирования контуров выработок и выработанных пространств, учитывать изменения упругих и прочностных характеристик пород в модели.

После того, как задача решена численно, полученные результаты отображаются визуально. Для этого используется программа обработки и визуализации результатов моделирования Surfer, к графическим функциям которой относятся следующие: изображение линий, граней, различных видов; управление цветом; линии уровня на поверхности; разрезы; линии уровня в разрезе и др.

На шестом этапе выявляются по результатам численного моделирования закономерности и устанавливаются зависимости изменения геомеханических параметров в окрестности горных выработок. Численное моделирование МКЭ с помощью комплекса компьютерных программ CoalPillar позволяет установить качественный характер распределения геомеханических параметров в кровле, боках и почве горной выработки. Полученные на предыдущем этапе картины распределения полей напряжений, изолиний смещений подлежат анализу на предмет выявления влияющих факторов. Определяются зоны влияния размеров подземных выработок, выработанных пространств и целиков на НДС пород. Изучаются закономерности формирования возможных негативных проявлений горного давления. Для количественной оценки состояния массива в окрестности горных выработок выполняется корреляционный анализ взаимосвязей между распределением напряжений в целиках и горно-геологическими и горнотехническими условиями.

На седьмом этапе производится обоснование параметров неоднородных целиков. Полученные зависимости позволяют уточнить расчеты параметров крепи горной выработки и безопасных параметров целиков, используемых или планируемых к применению. Корреляционные уравнения позволяют оценить прогнозное состояние пород в целиках. Выявлено, что в краевых частях неоднородного целика напряжения изменяются на разную глубину с

различной интенсивностью. Это связано со значительными изменениями механических свойств и с неоднородностью строения и состава рабочих пластов и пород.

Таким образом, предложенная методика исследования состояния неоднородных угольных целиков позволит:

- оперативно и своевременно предоставлять информацию о состоянии неоднородных целиков в различных производственных ситуациях;
- осуществлять достоверный прогноз НДС неоднородных целиков методом численного моделирования;
- на каждом этапе эксплуатации целика предоставлять сведения об опасных участках для разработки рекомендаций по выбору способов охраны горных выработок;
- применять обоснованные параметры неоднородных целиков, тем самым обеспечивая устойчивость горных выработок и повышая безопасность ведения горных работ;
- получить изолинии распределения геомеханических параметров (напряжений, смещений и др.) по выбранному разрезу с нанесением фактически пройденных и проектных горных выработок для оценки НДС;
- оперативно решать технологические задачи с помощью компьютерного моделирования в периоды усложнения горно-геологических условий;
- оперативно сравнивать возможные варианты безопасного порядка ведения работ на стадии проектирования и эксплуатации горного предприятия;
- осуществлять сопровождение горных работ от проектирования горного предприятия до его ликвидации;
- используя широкие возможности МКЭ, моделировать горные выработки любой формы поперечного сечения, зоны обрушенных и уплотненных пород, элементы крепления выработок, задание внешней нагрузки в любой форме и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н. Численное моделирование упругопластического деформирования неоднородных угольных целиков в зоне влияния очистного выработанного пространства // Краевые задачи и математическое моделирование: Сб. науч. ст. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2014. С. 62 – 67.
2. Р и б С.В., Б а с о в В.В. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач численного моделиро-

- вания неоднородных угольных целиков // Вестник СибГИУ. 2014. № 4. С. 11 – 13.
3. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 367 – 372.
 4. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н., В о л о ш и н В.А., Ч е р е п о в А.А. Закономерности формирования зон повышенного горного давления под влиянием угольного целика-штампа при отработке свиты пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7. С. 23 – 29.
 5. Н и к и т и н а А.М., Ф р я н о в В.Н. Геомеханическое обеспечение устойчивости подземных горных выработок в неоднородном углепородном массиве. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – 199 с.
 6. В е р ж б и ц к и й В.М. Основы численных методов: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 840 с.
 7. И с и к а в а К. Японские методы управления качеством / Сокр. пер. с англ. Под ред. А.В. Гличева. – М.: Экономика, 1988. – 214 с.
 8. Математика и САПР. В 2-х кн. Кн. 2. / Пер. с франц. / П. Ж е р м е н-Л а к у р, П.Л. Ж о р ж, Ф. П и с т р, П. Б е з ь е. – М.: Мир, 1989. – 264 с.
 9. Ш а й д у р о в В.В. Многосеточные методы конечных элементов. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
- © 2015 г. С.В. Риб, В.В. Басов
Поступила 2 декабря 2015 г.

УДК 622.83:622'112

Е.М. Жуков¹, И.А. Лугинин¹, Ю.И. Кропотов¹, К.А. Зырянов¹, В.В. Басов²

¹ООО «ЭО «Экспертпромуголь»

²Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРЕЩИН НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОРОД В КРОВЛЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Горные породы в естественном состоянии под влиянием циклических геотектонических процессов и изменяющихся при этом знакопеременных деформаций сжатия и растяжения подвергаются дезинтеграции с формированием системы блоков, границами которых являются трещины [1]. Возникшие на предыдущем геотектоническом цикле линеаменты могут служить каналами для миграции флюидов из земных недр или заполняться минеральными включениями. В структурированном блочном геомассиве в процессе поэтапного эволюционного изменения земных недр под влиянием знакопеременных напряжений формируются и прорастают новые трещины с пересечением линеаментов предыдущего геотектонического цикла. Указанные процессы являются следствием проявления общего закона универсаль-

ной фрактальной делимости нагружаемых твердых тел и сред [1, 2]. Таким образом, углепородный массив до начала ведения горных работ следует рассматривать как систему блоков, границами которых являются трехмерные сопряженные элементы: повреждения, трещины, разломы.

В процессе проведения и эксплуатации горных выработок возникают дополнительные техногенные напряжения, которые совместно с природными приводят к изменению иерархической структуры геосреды. Напряжения или силы, возникающие внутри массива горных пород вследствие проведения выработки и вызывающие деформации окружающих выработку горных пород, принято называть горным давлением.

Под действием горного давления породы в кровле пройденной горизонтальной или наклонной выработки деформируются. Длительное действие постоянных нагрузок приводит к постепенному росту деформации. При этом также наблюдается постепенный переход упругой деформации в пластическую и далее в разрушающую, сопровождающуюся нарушением сплошности вследствие возникающих в горных породах новых поверхностей раздела и трещин – структурных линейментов. По мере расширения трещин (структурных линейментов расслоения) происходит нарушение связи между частицами пород, выпадение отдельных ее кусков и обрушение кровли. После обрушения пород кровля выработки часто принимает форму свода. Наиболее правильная форма свода наблюдается в однородных породах, равномерно разбитых трещинами, а пластичные и вязкие породы не обрушаются, а прогибаются. Устойчивость горных пород, окружающих горную выработку, в том числе в пределах свода естественного равновесия, в значительной степени зависит от их трещиноватости [3 – 5].

Для предотвращения обрушения пород кровли и сохранения заданной формы и размеров выработок в неустойчивых породах в горной практике широко применяются различные типы крепей: в виде стоек, арок, анкеров. На стадии проектирования паспорт крепления выработок разрабатывается с учетом обеспечения сохранности горной выработки в продолжение всего срока ее службы и для создания безопасных условий работ персонала.

Для выбора типа и параметров крепи на стадии разработки паспорта проведения, крепления и поддержания выработки на шахтах России используют федеральные нормы и правила [6 – 8], в которых влияние трещин в углепородном массиве учитывается посредством коэффициентов, зависящих от неоднородности и слоистости пород, параметров дизъюнктивных геологических нарушений, обводненности выработок и других факторов. Указанные коэффициенты приняты на основе многолетних натуральных наблюдений деформаций крепи, аварийных обрушений пород кровли. Реальное состояние трещиноватых пород кровли оценивалось по кернам, что также не полностью отражало иерархическую структуру породного массива.

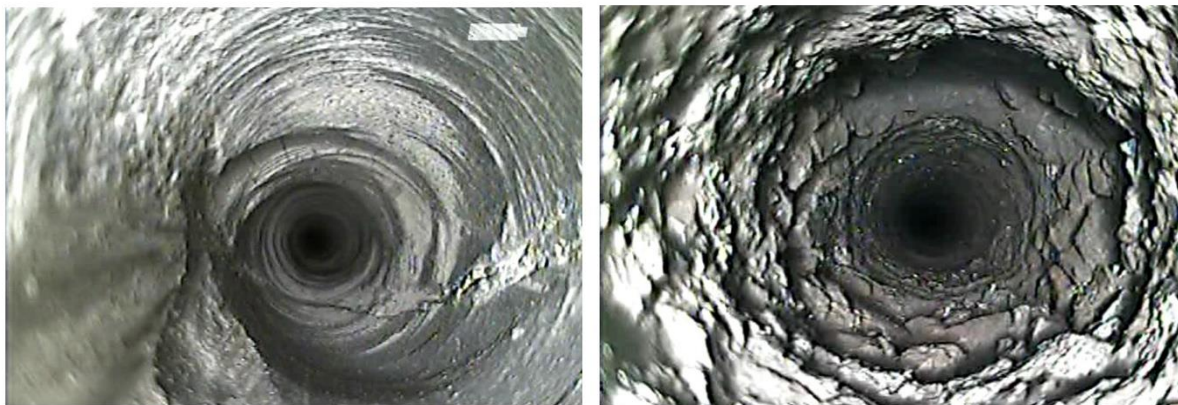
С расширением области применения анкерной крепи возник ряд гипотез ее взаимодействия с породами кровли [3, 5, 9 – 14]: подвешивание анкерами нарушенной части породного массива, скрепление разнородных слоистых пород, армировка массива для повышения связности и устойчивости. С учетом результатов последних

исследований [10] механизм работы анкерной крепи заключается в представлении об анкерах как об элементах, изменяющих структуру массива, препятствующих его разрушению и формированию вокруг выработки зоны разрушенных пород. Различные схемы анкерования массива позволяют при минимальном количестве анкеров максимально использовать несущую способность породного массива. Этим обеспечивается значительное повышение несущей способности заанкерowanego массива разрушенных пород за счет повышения их остаточной прочности. Устойчивость пород кровли, усиленной анкерами, значительно возрастает.

По результатам широкого применения анкерной крепи и анализа причин аварийных обрушений пород кровли на угольных шахтах России установлено, что основными факторами, влияющими на устойчивость закрепленной анкерами пород кровли, являются слоистость и трещиноватость, которые лишь качественно учитываются в действующих методических документах набором коэффициентов [6 – 8, 15].

С появлением технических средств видеозендоскопической съемки трещин на стенках скважин, пробуренных в кровлю выработки, появилась возможность оценки иерархической структуры породного массива (см. рисунок). Идея предлагаемой методики оценки состояния горных выработок для разработки профилактических мероприятий по обеспечению их устойчивости состоит в установлении и использовании зависимости смещений пород кровли от параметров трещин. Для этого в подготовительной выработке по пикетам проводится с помощью видеозендоскопа текущий мониторинг изменения параметров трещин, а также с помощью глубинных и контурных реперов измеряются деформации углепородного массива.

По результатам многолетних исследований зависимостей смещений пород кровли от типа и динамики трещин установлено, что параметры полученных зависимостей для разных горно-геологических условий существенно отличаются. Проблема несоответствия связана с неоднозначностью идентификации количественных параметров трещин, которые характеризуются индивидуальными особенностями. В этой связи проведена качественная классификация этих индивидуальных особенностей трещин, для чего выделены их классификационные признаки (табл. 1). На основе данных табл. 1 и результатов многочисленных наблюдений и измерений в натуральных условиях для угольных месторождений Кузбасса разработана классификация трещин с количественной оценкой их параметров и оценка



Фрагменты видеэндоскопической съемки пород на стенках скважин

устойчивости пород кровли подготовительных выработок (табл. 2).

Выводы. Использование результатов эндоскопической съемки позволяет реализовать новый подход к оценке устойчивости пород кровли посредством идентификации качества геомассива в своде выработки по следующим параметрам трещин: форма, размеры, интенсивность, степень открытости, поверхности ослабления. Разработана и предлагается для использования классификация пород кровли, позволяющая прогнозировать эксплуатационное состояние выработки по критерию безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нелинейная механика геоматериалов и геосред / Макаров П.В., Смолин И.Ю., Стефанов Ю.П. и др.; Под ред. Л.Б. Зуева. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. – 235 с.
2. Ха ч а й О.А., Ха ч а й О.Ю. Геосинергетика: теория, методы, эксперименты при решении проблем отработки горных массивов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2015. С. 45 – 51.
3. В и т т к е В. Механика скальных пород. – М.: Недра, 1990. – 439 с.
4. Физико-технические свойства горных пород и углей / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994. – 447 с.
5. Геомеханика / Егоров П.В., Штумпф Г.Г., Ренев А.А. и др. – Кемерово: изд. КузГТУ, 2002. – 339 с.
6. Методика расчета и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов /. – СПб.: изд. ВНИМИ, 2004. – 84 с.
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах». Приказ Ростехнадзора от 17.12. 2013 № 610 (зарегистрировано в Минюсте России 19.02.2014 № 31354).

Т а б л и ц а 1

Качественная классификация природных и техногенных трещин и расслоений пород в окрестности горной выработки [3, 16, 17]

Форма трещин	Размеры трещин	Интенсивность трещиноватости по среднему расстоянию между трещинами	Степень открытости трещин	Поверхности ослабления
Прямые	Длина	Слаботрещиноватые	Открытые	Поверхность напластования
Дуговидные	Ширина	Среднетрещиноватые	Закрытые	Трещины отрыва
Кольцевые	Малые (внутрипластовые)	Сильнотрещиноватые	Скрытые	Трещины скола
Изломанные	Большие	Весьма сильнотрещиноватые	Рассланцованные	Трещины сдвига

Количественная классификация природных и техногенных трещин и расслоений пород в окрестности горной выработки

Протяженность трещин, мм	Ширина трещин, мм	Расстояние между трещинами, мм	Заполнение трещин	Степень открытости трещин	Смещения пород кровли, мм	Характеристика признаков опасности	Состояние выработки
>1000	> 2,00	< 50	Механическое	Открытая	> 300	Прогиб подхватов и прорыв гаек анкеров через них, полное смятие опорных шайб, прогиб решетчатой затяжки более 15 см, разрывы решетчатой затяжки	Опасно
601 – 1000	1,01 – 2,00	51 – 100	Органогенное	Закрытая	251 – 300	Шайбы вдавлены, прогиб верхняков, прогиб решетчатой затяжки до 15 см	Требуется усиление крепи
401 – 600	0,51 – 1,00	101 – 200			201 – 250		
201 – 400	0,11 – 0,50	201 – 300			151 – 200		
101 – 200	0,02 – 0,10	301 – 500			101 – 150		
51 – 100	0,002 – 0,01	501 – 800			71 – 100 51 – 70		
< 50	< 0,001	> 1000	Химическое или физико-химическое	Скрытая	< 50	Отсутствуют видимые деформации верхняков, решетчатой затяжки и опорных элементов	Не опасно

8. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок / – СПб.: изд. ВНИМИ, 1991. – 125 с.
9. Широков А.П., Лидер В.А., Писляков Б.Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применения. – М.: Недра, 1976. – 208 с.
10. Майоров А.Е., Хмяляйнен В.А. Консолидирующее крепление горных выработок. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 258 с.
11. Механизация проведения подготовительных выработок / А.И. Петров, Г.Г. Штумпф, П.В. Егоров, Г.Н. Архипов. – М.: Недра, 1988. – 249 с.
12. Першин В.В. Организация строительства горных выработок. Справочное пособие. – М.: Недра, 1992. – 224 с.
13. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Нурдихин А.Г. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок. Справочник. – М.: Недра, 1989. – 571 с.
14. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1994. – 382 с.
15. Фармер Я. Выработки угольных шахт / Пер. с англ. Е.А. Мельникова. – М.: Недра, 1990. – 269 с.
16. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
17. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1970. – 160 с.

© 2015 г. Е.М. Жуков, И.А. Лугинин,
Ю.И. Кропотов, К.А. Зырянов, В.В. Басов
Поступила 2 декабря 2015 г.

УДК 622.281.74:519.876.5

С.В. Риб, А.Н. Домрачев, В.А. Волошин

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ, ПРИНЯТЫХ ПО НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сложная экономическая ситуация, сложившаяся в экономике нашей страны, предъявляет повышенные требования к эффективности и безопасности работы угольных шахт. Одним из условий эффективной и безопасной работы шахты является применение оптимальных технологических решений по проведению и поддержанию горных выработок. За последние годы широкое распространение в угольной промышленности разных стран, в том числе и России, получила сталеполимерная анкерная крепь: в России – от 60 % (в Печорском бассейне) до 95 % (в Кузбассе); в Германии – до 60 % (в составе комбинированной крепи) [1]; в США — до 100 %. Этот вид крепи по сравнению с другими имеет ряд явных преимуществ:

– увеличение скорости проведения горных выработок;

– связывание и упрочнение массива пород в кровле и боках выработки сразу после установки крепи;

– противодействие развитию смещений и деформаций пород;

– возможность полной механизации процесса крепления;

– низкая трудоемкость проходческих работ;

– сравнительно невысокая стоимость;

– высокая надежность крепи;

– снижение расхода материалов и объема работ по поддержанию горных выработок.

В течение последних 10 лет успешно решаются задачи поддержания подземных горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях с помощью анкеров второго уровня (канатные анкеры).

Действующая в настоящее время «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации» регламентирует определение параметров сталеполимерной анкерной крепи, а также конструкции анкерной крепи в кровле и боках горизонтальных и наклонных капитальных и подготовительных выработок. За пределами действия этой Инструкции использование анкерной крепи производится с учетом специфики и сложности условий по рекомендациям ВНИМИ с применением дополнительных мер безопасности и постоянных наблюдений за проявлениями горного давления и состоянием крепи [2].

При проектировании анкерной крепи для конкретных горно-геологических условий определяются следующие параметры: сопротивление крепи, длина анкеров, несущая способность анкера, шаг установки, диаметр анкера и др. Неточные геологические данные, полученные на стадии геологоразведки, и недостаточная изученность возникающих опасных зон в окрестности горной выработки влекут за собой ошибочные проектные решения, что часто приводит к низким показателям эффективности работы шахты. С другой стороны, сложившаяся практика свидетельствует о том, что обоснование оптимальных проектных решений требует многовариантного проектирования [3].

Для исследования напряженно-деформированного состояния пород в окрестности горной выработки, закрепленной анкерной крепью, применяются различные геомеханические модели. Перспективным в настоящее время является численное моделирование, в основе которого лежит метод конечных элементов [4, 5].

В этой связи назрела задача оценки соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования, для выявления опасных зон в приконтурном массиве горной выработки.

Предлагаемый подход предусматривает два уровня решения поставленной задачи. Первый – на стадии проектирования параметров анкерной крепи горной выработки выполняется математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ). Моделируются несколько вариантов крепления горной выработки, после чего по результатам численного моделирования производится оценка принятых проектных параметров анкерной крепи на предмет выявления опасных зон в окрестности горной выработки. При необходимости осу-

ществляется корректировка инженерных решений. Второй – на стадии проведения горной выработки и ее эксплуатации производится детальное обследование структуры и состава пород кровли, боков и почвы для корректирующего расчета параметров анкерной крепи [6]. На этом уровне предполагается использовать, в том числе, и численное моделирование.

В настоящей работе рассматривается первый уровень – на стадии проектирования.

Использование МКЭ может обеспечить следующие преимущества: учет структуры кровли пласта, в том числе при наличии мелкоамплитудных разрывных нарушений и структурных несоответствий; моделирование различных вариантов заделки анкеров – на полную длину, на частичную длину и т.д.; оценка роли дополнительных элементов крепи – подхватов (штрипсов), опорных шайб, перетяжки и др.; учет влияния формы и размеров поперечного сечения выработки, в том числе при оценке деформаций в боках и потенциальной опасности пучения почвы выработки; задание практически произвольной эпюры распределения горного давления над участком массива (в том числе включающего горную выработку).

Численное моделирование методом конечных элементов выполнено для условий подготовительной выработки шахты «Северная» Ургальского каменноугольного месторождения Хабаровского края.

Подготовительная выработка (штрек) проводится по пласту В.12 при угле падения 3 градуса. Мощность угольного пласта составляет 3,5 м, коэффициент крепости по шкале профессора М.М. Протодяконова – 1,2. Основная кровля пласта представлена чередованием прослоев средне-, мелко- и тонкозернистого песчаника и алевролита. Суммарная мощность этих отложений около 25 м. Коэффициент крепости пород основной кровли по шкале М.М. Протодяконова равен 8. В непосредственной кровле, сразу над пластом, расположены прослой углистых пород и аргиллита общей мощностью 0,5 – 2,0 м с коэффициентом крепости 2 по шкале М.М. Протодяконова. Выше по разрезу расположен прослой алевролита, склонный к отслаиванию и рассланцеванию, его мощность составляет 3,0 м, коэффициент крепости по шкале М.М. Протодяконова равен 5. Еще выше по разрезу расположено чередование прослоев песчаника и алевролита общей мощностью 14 м с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова 8. Непосредственная почва пласта представлена прослоем аргиллита или угли-

стого аргиллита мощностью 0,3 м с коэффици-

ентом крепости 3.

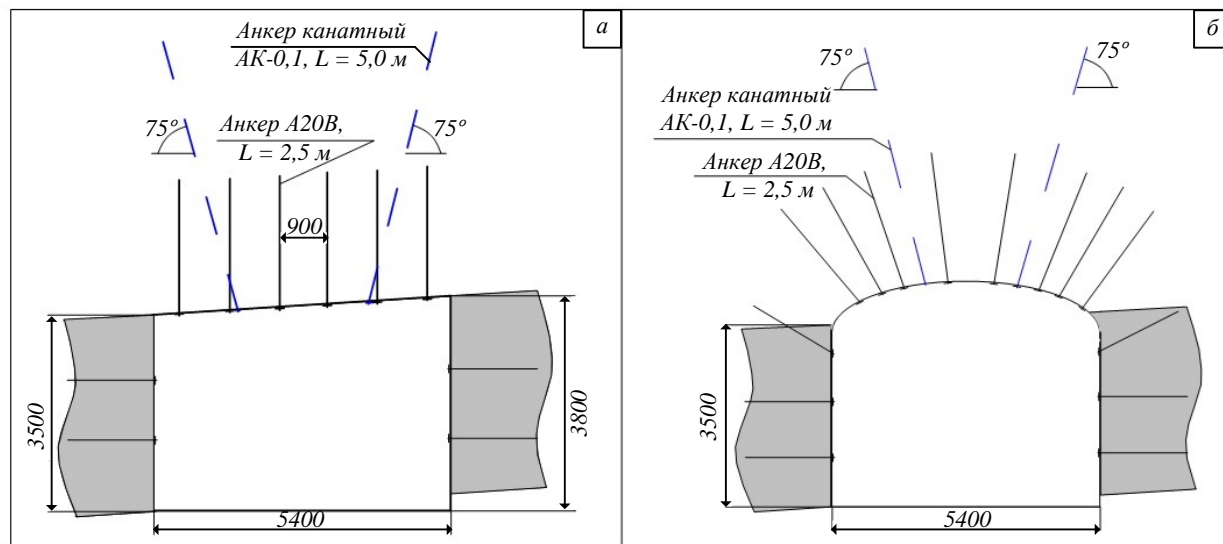


Рис. 1. Проектные параметры крепления штрека анкерной крепью по первому (а) и второму (б) вариантам

Основная почва представлена междупластьем пластов В.12 и В.11, сложена толщами песчаника тонко- и мелкозернистого. Мощность междупластья 3 м с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова 6. Ниже залегает пласт В.11 мощностью 2,4 м и коэффициентом крепости 1.

Проектные параметры анкерной крепи штрека (два варианта) представлены на рис. 1. Моделируется напряженно-деформированное состояние геомассива в окрестности штрека. Решение осуществляется в упругопластической постановке. Применяется комплекс программ CoalPillar, в основе которого реализован МКЭ [7 – 10]. С помощью этого комплекса были построены четыре модели (две для первого и две для второго вариантов крепления штрека). Исследуется влияние проектных параметров анкерного крепления и формы сечения горной выработки на поведение пород.

На рис. 2 представлены распределение изолиний полных вертикальных напряжений (результаты по первым двум моделям).

По результатам моделирования определяются форма и размеры опасной зоны в своде выработки (рис. 2, а), а анкерная крепь изменяет состояние пород в своде, тем самым повышает устойчивость горной выработки (рис. 2, б). Изолинии распределения полных вертикальных напряжений в окрестности сводчатой горной выработки, закрепленной анкерной крепью, представлены на рис. 2, в, из которого следует, что даже при установке анкеров в кровле штрека сводчатой формы могут возникнуть опасные зоны (вывалы пород), что с большой вероятностью приведет к аварийной ситуации. Предлагается в этих условиях для

повышения устойчивости горной выработки установить еще один сталеполимерный анкер в кровле, что и было реализовано (рис. 3, б).

В результате численного моделирования скорректированные параметры анкерной крепи уменьшат размеры опасной зоны в окрестности подготовительной горной выработки с 1,2 м (рис. 3, а) до 0,8 м (рис. 3, б).

Результаты, полученные с помощью численного моделирования, в проведенных исследованиях показали удовлетворительную сходимость показателей напряженно-деформированного состояния пород в окрестности горной выработки, закрепленной анкерной крепью, с материалами работы [11].

Выводы. В результате оценки соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования при разной форме поперечного сечения выработки, установлено, что принятые по нормативным документам параметры анкерной крепи не всегда обеспечивают устойчивость горных выработок; численное моделирование позволяет определить опасные зоны в окрестности горной выработки и скорректировать паспорт крепления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А й к х о ф ф Ю. Техника и технология анкерного крепления в системе штрековой крепи // Глюкауф. 2008. № 2 (3). С. 28 – 35.
2. Я к о в л е в Д. В. Нормативно-методические основы крепления горных выработок анкерной крепью на угольных

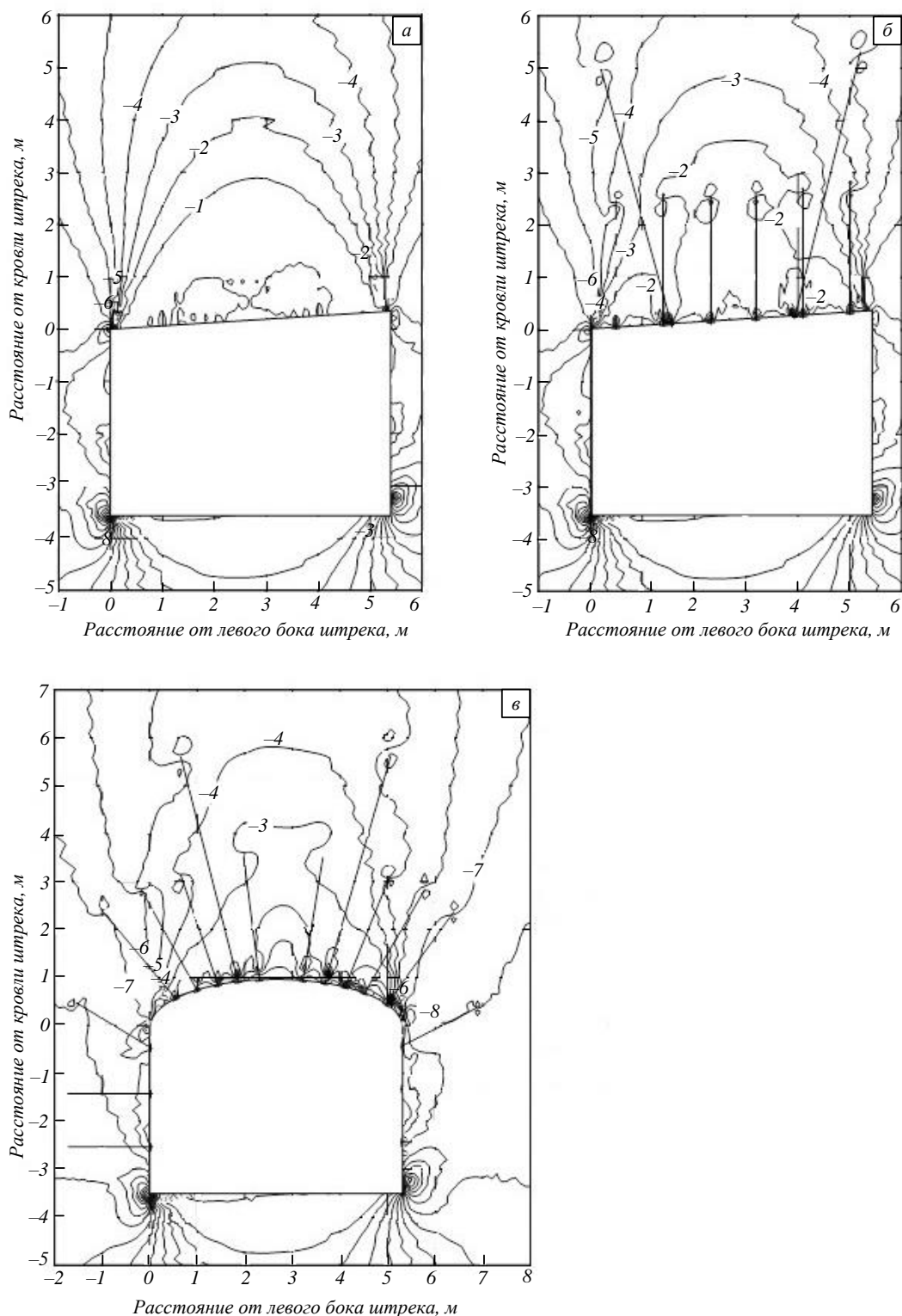


Рис. 2. Распределение изолиний полных вертикальных напряжений в окрестности горной выработки:
 а – без крепи (полигональная форма); б – с анкерной крепью (полигональная форма); в – с анкерной крепью (сводчатая форма)

3. Кузнецов Ю.Н., Петров А.Е., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Основные этапы и направления развития информационного обеспечения САПР отработки запасов угольных месторождений // Уголь. 2014. № 12. С. 82 – 85.
4. Черданцев Н.В., Преслер В.Т. Обоснование выбора параметров анкерной крепи для выработки, пройденной в анизотропном по прочности массиве горных пород // Вестник научного центра

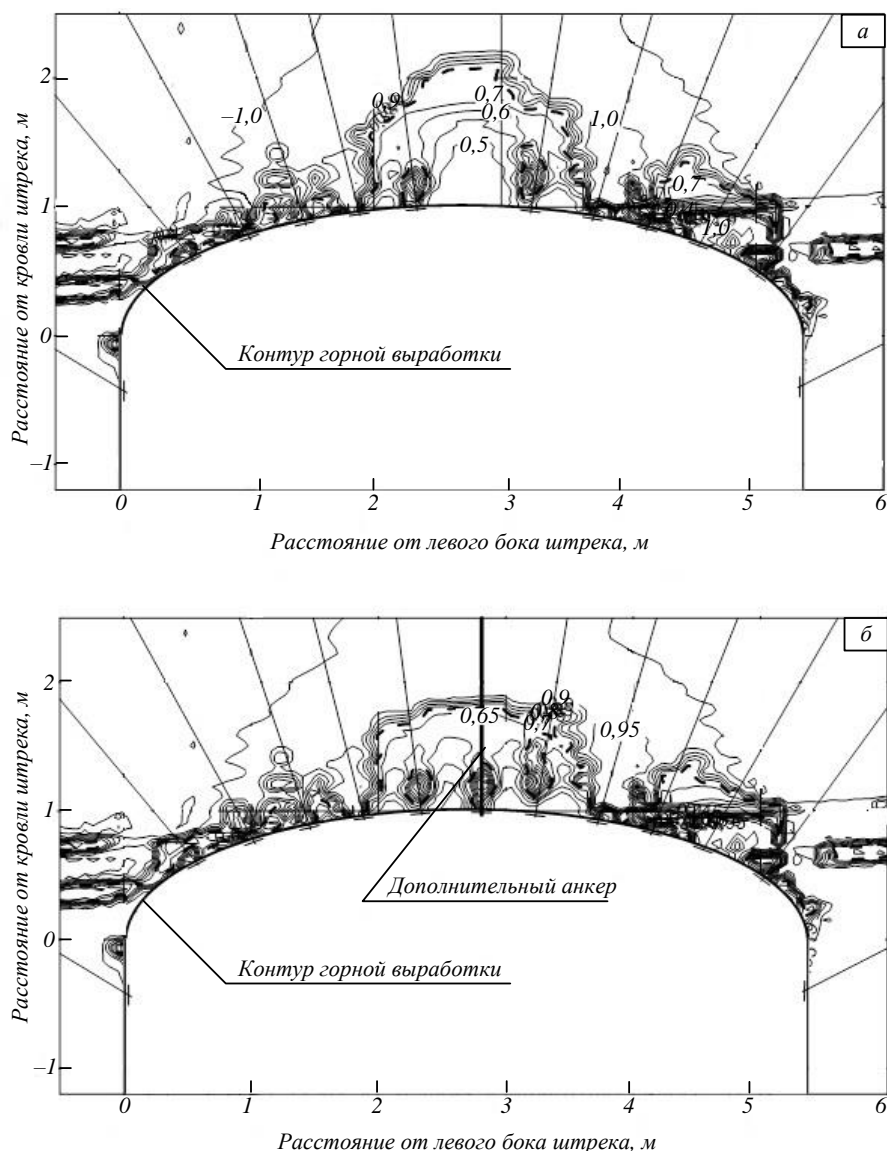


Рис. 3. Распределение изолиний отношения остаточной прочности пород к исходной в окрестности штрека, закрепленного анкерной крепью:

а – по нормативным документам; *б* – по нормативным документам и с дополнительным анкером

5. Демин В.Ф., Портнов В.С., Мусин Р.А., Маусымбаева А.Д., Демин В.В. Анкерное крепление горных выработок для повышения устойчивости углепородного массива // Уголь. 2013. № 11. С. 70 – 73.
6. Риб С.В., Фрянов В.Н., Зиганшин А.Г., Петров А.С., Борзых Д.М., Никитина А.М. Применение инновационных технических средств для корректировки существующей методики выбора параметров анкерной крепи горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 354 – 360.
7. Риб С.В., Борзых Д.М., Никитина А.М. Исследования распределения

напряжений в породах кровли горной выработки при разных схемах расположения анкеров // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. ст. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. С. 118 – 126.

8. Риб С.В., Борзых Д.М., Никитина А.М. Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по 1-му слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с дробленными и обводненными породами в условиях ОАО «Шахта «Сибиргинская» // Вестник СибГИУ. 2013. № 3 (5). С. 62 – 67.
9. Риб С.В., Басов В.В. Методика подготовки исходных данных для решения

- двумерных задач численного моделирования неоднородных угольных целиков // Вестник СибГИУ. 2014. № 4. С. 11 – 13.
- 10.** Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 367 – 372.
- 11.** Р е м е з о в А.В., Х а р и т о н о в В.Г., М а з и к и н В.П. Анкерное крепление на шахтах Кузбасса и дальнейшее его развитие: Учебное пособие. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2005. – 471 с.

© 2015 г. С.В. Риб, А.Н. Домрачев,
В.А. Волошин
Поступила 2 декабря 2015 г.

А.А. Оленников, Е.В. Осокин, П.П. Кирилов, Е.Л. Гуца, В.В. Николенко

Сибирский государственный индустриальный университет

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ СЪЕМКА ДЛЯ ПОИСКА СКРЫТЫХ ДЕФЕКТОВ В ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЕ ЗДАНИЙ

Один из современных методов получения достоверной информации о текущем состоянии ограждающих конструкций здания, которые призваны защищать сооружения от внешнего негативного воздействия природных факторов, – тепловизионное обследование. Результаты таких обследований свидетельствуют о качестве проведенных строительно-монтажных работ. Решаемая этим методом задача – получение объективной картины о теплоизолирующем состоянии различных элементов конструкций зданий. В настоящее время широко используются традиционные методики проведения тепловизионной съемки [1, 2]. Однако стоит выделить особенности: это экспресс-обследование проблемных точек; возможность выявления критических ситуаций при работе элементов строительных конструкций.

Определение реальных характеристик тепловой защиты зданий регламентировано в ряде нормативных документов [3, 4], в которых определены задачи перед строителями в вопросах рационального использования тепловой энергии. Согласно этим нормативным документам разрабатывается энергетический паспорт здания и проводится тепловизионная съемка объекта. Энергетический паспорт – регламентированный нормативный документ, в формах которого по результатам энергоаудита сведены фактические и рекомендуемые показатели энергоэффективности и программа реализации имеющегося резерва экономии энергоресурсов.

С помощью тепловизионной съемки проводится высококачественная проверка теплозащиты здания, которая наглядно показывает наличие или отсутствие скрытых конструктивных, технологических, строительных или эксплуатационных дефектов теплозащиты зданий. При выполнении таких работ от организации требуется: участие в саморегулируемой организации; наличие необходимого специального оборудования; высококвалифицированные в тепловизионной съемке и строительном деле специалисты.

Обследование здания начинается с оценки его конструктивной схемы [5 – 7]: фундамента, конструкций стен, светопрозрачных ограждающих конструкций, элементов крыши. Полученные данные отражаются в протоколе или отчете проведения обследования. Далее проводится внешний визуальный осмотр здания и наружных ограждений и определяется доступность ограждающих конструкций для выполнения съемки тепловизионной камерой. На этапе подготовительных работ специалистами определяется методика проведения натурных обследований; в каждой организации используется собственная оригинальная методика исследований, основанная на рекомендациях [8 – 10].

Устанавливается порядок организации и проведения замеров, обработки результатов испытаний ограждающих конструкций и контроля уровня теплозащиты конструкций в натуральных условиях, в последующем используются контактные методы измерений выборочных участков. Регламентируется проведение испытаний ограждающих конструкций зданий (наружных стен; покрытий; чердачных перекрытий; перекрытий над проездами; холодными подпольями и подвалами; ворот и дверей в наружных стенах; оконных и балконных дверных блоков, фонарей; других ограждающих конструкций, разделяющих помещения с различными температурно-влажностными условиями) и устанавливаются методы определения:

- приведенного сопротивления теплопередаче в натуральных и лабораторных условиях;
- сопротивления теплопередаче участков ограждающих конструкций, неоднородных по теплотехническим параметрам, имеющих другой уровень теплозащитных свойств.

Примеры тепловизионного обследования различных конструкций

Разные виды ограждающих конструкций имеют свои характерные дефекты, которые можно разделить на два типа. Один из видов дефектов – это повышенная инфильтрация воз-

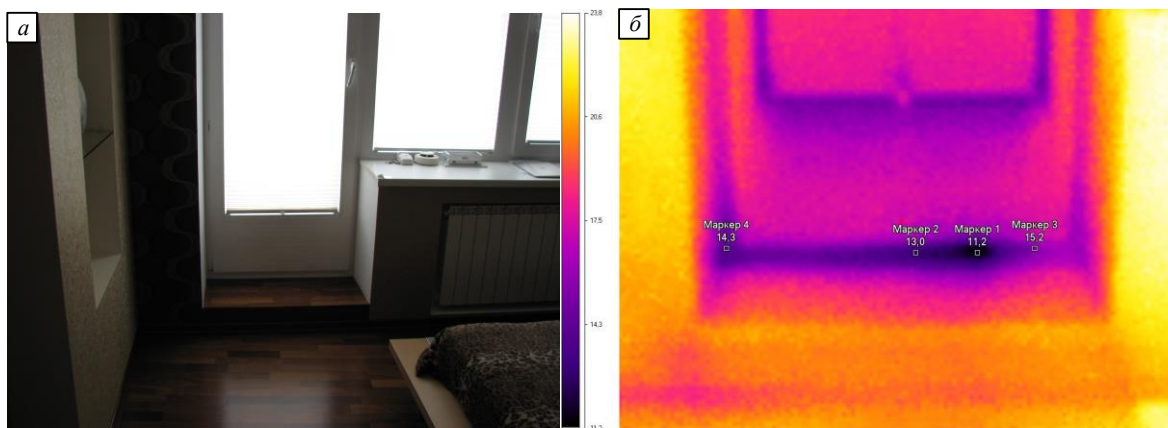


Рис. 1. Скрытые дефекты уплотнителя балконных дверей:
 а – фотография балконной двери; б – термограмма балконной двери

духа через щели и неплотности в стыках элементов ограждающих конструкций. При внутренней тепловизионной съемке участки с инфильтрацией отображаются в виде холодных зон в местах проникновения холодного уличного воздуха в помещение. По данным организации ООО «Кузнецк Эксперт» щели в примыкании створок окон и балконных дверей (рис. 1) присутствуют у 80 % обследованных объектов. Причинами дефектов являются плохая регулировка створок, повреждения или отсутствие уплотнителей.

Обследование объектов частного коттеджного строительства из деревянных конструкций в большинстве случаев выявляет ряд существенных дефектов: в основном, некачественное исполнение работ по сборке деревянных срубов, наличие большого количества щелей между бревнами или брусьями сруба, через которые происходит фильтрация воздуха. Тепловизионная съемка показывает неравномерно прогретые области в строительных

конструкциях; причина возникновения таких областей – проникновение в помещения холодного наружного воздуха под действием тяги и ветра. Теплый воздух из помещений выходит через щели в верхней части стен и в примыканиях их к крыше.

Второй тип дефектов связан с нарушением теплоизоляции ограждающих конструкций. Результатом нарушений являются области с пониженной температурой на внутренней поверхности ограждающих конструкций, это так называемые «температурные аномалии». Основной задачей обследования является выявление всех температурных аномалий и причин их возникновения.

В качестве критериев дефектности используются показатели теплозащиты [4] – ограничение температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций и перепада между температурой внутреннего воздуха и средней температурой поверхности ограждающих конструкций (рис. 2). Причиной аномалий являют-

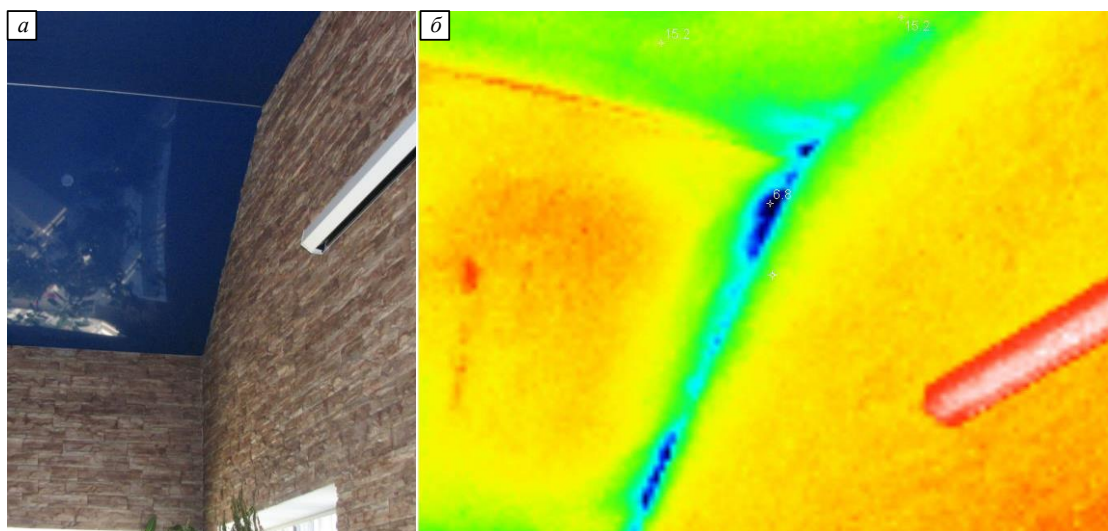


Рис. 2. Скрытые дефекты в стыках строительных конструкций:
 а – фотография стыка строительных конструкций; б – термограмма стыка строительных конструкций

ся закладные элементы в стеновых панелях, недостаточная теплозащита и промерзание углов, недостаточное утепление стен, перекрытий, покрытий, цокольных этажей, нарушения швов и стыков между сборными конструкциями, нарушение технологии утепления, использование несоответствующих проекту материалов или отступление от проекта, иные причины.

Достаточно часто встречаются проблемы с утеплением элементов пластиковых окон, их стыков со строительными конструкциями. Ситуация с теплозащитой таких конструкций ухудшается при наличии щелей в несущей стене с инфильтрацией холодного воздуха в зазор, где располагается слой теплоизоляции. При этом воздух в зазоре за слоем внутренней отделки имеет значительно пониженную температуру, зачастую близкую к уличной (рис. 3).

Обследование проблемных объектов

Очень часто встречаются объекты (в том числе частные жилые строения), где высокий расход топлива и нарушение микроклимата не имеют явных причин. Тепловизионное обследование и экспертиза технической документации помогают выявить причину нарушений. В качестве примера можно привести квартиру на последнем этаже в элитном доме в городе Новокузнецке, где температура воздуха в одной из комнат опускалась ниже допустимой. Обследование показало, что к окнам и системе отопления нет претензий. Причиной нарушения микроклимата было отсутствие теплоизоляции на перекрытии (рис. 4). Проблема была решена путем укладки утеплителя на плиту перекрытия.

Еще один пример – тепловизионное обследование помещения зимнего сада на первом этаже в частном коттедже. В ходе обследования были выявлены чрезмерно высокие тепловые потери через несущую стену (рис. 5), при-

водящие к нарушению микроклимата. В результате этого система отопления, выполненная по проекту, не могла покрывать требуемую нагрузку, температура в помещении не поднималась выше 10 °С, и поэтому приходилось дополнительно производить нагрев тепловой пушкой.

Использование результатов тепловизионной съемки при проектировании и монтаже

Тепловизионный контроль новых и реконструированных зданий дает важную информацию для проектировщиков, выявляются удовлетворительные и/или неудовлетворительные проектные решения. Многие экспертные организации результаты тепловизионных обследований используют для корректировки проекта и объекта. К примеру, с помощью тепловизионной съемки проводится контроль тепловой защиты зданий, изучается срок службы тепловой изоляции и ее состояние. Такая информация будет полезной при разработке последующих проектов.

В настоящее время растет популярность каркасного домостроения с различными вариантами наружных стен: кирпичными, пенобетонными, навесными; однако и в современных зданиях встречаются свои характерные недостатки. Часто тепловизионное обследование показывает отсутствие теплоизоляции торцевой части железобетонных межэтажных перекрытий. Хотя конструкции соответствуют проекту, в некоторых случаях такой «мост холода» может быть признан дефектом теплозащиты. Это еще раз подтверждает, что тепловизионное обследование показывает поведение строительных конструкций и материалов в реальных условиях эксплуатации, а расчеты на стадии проектирования могут не учитывать ряд факторов.

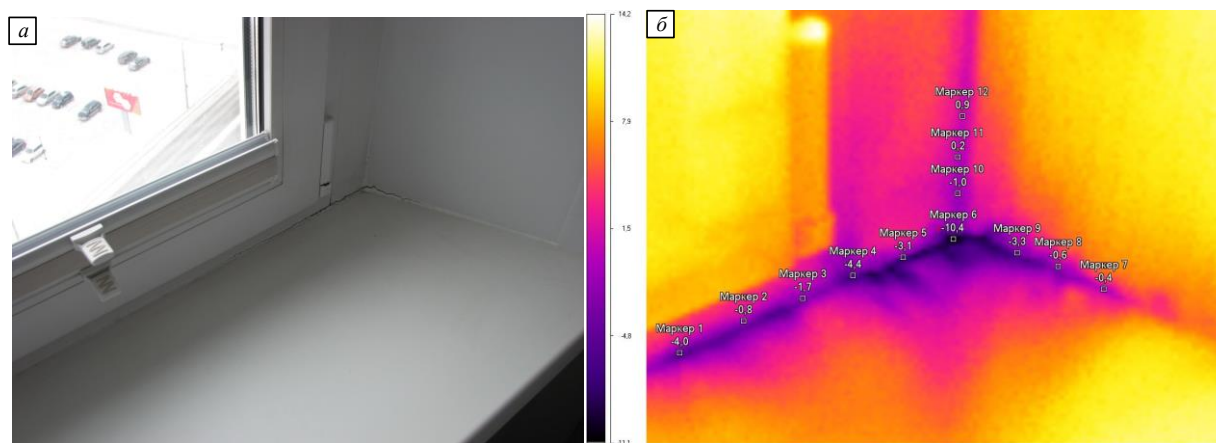


Рис. 3. Скрытые дефекты в стыках конструкций из поливинилхлорида (ПВХ): а – фотография места стыковки конструкций ПВХ; б – термограмма места стыковки конструкций ПВХ

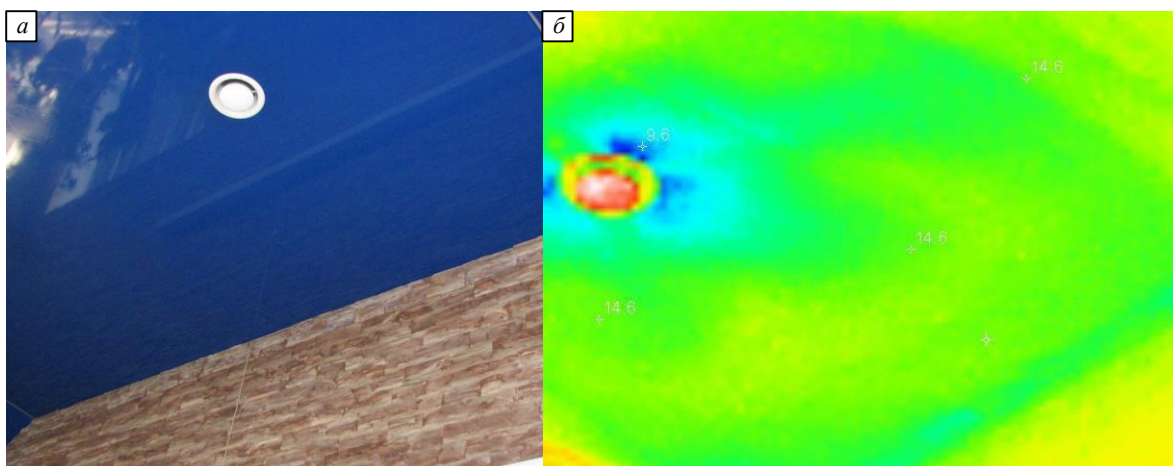


Рис. 4. Скрытые дефекты тепловой изоляции перекрытия:
а – фотография перекрытия; *б* – термограмма перекрытия

Контроль энергоэффективности зданий

Кроме качественной картины состояния ограждающих конструкций важно получить данные о фактическом значении таких важных нормируемых параметров теплозащиты, как термическое сопротивление, коэффициент теплотехнической однородности, приведенное сопротивление теплопередаче.

Эта задача решается с помощью комплексного обследования. При помощи тепловизора выполняется экспресс-съемка, определяются проблемные места, а затем проводится мониторинг теплового режима ограждающих конструкций контактными датчиками температуры и теплового потока. Следует отметить, что такое обследование – это самый эффективный метод измерения фактического значения приведенного сопротивления теплопередаче элементов ограждающих конструкций в натуральных условиях.

Результаты комплексного тепловизионного обследования используются для заполнения

графы фактических показателей в энергетическом паспорте здания, затем рассчитывается класс его энергоэффективности. В ряде регионов (например в Москве, Новосибирске) эта процедура обязательна: энергетический паспорт необходим для получения от Ростехнадзора допусков на тепло- и электроснабжение законченных строительством объектов недвижимости.

Результаты обследований, проведенные ООО «Кузнецк Эксперт», показывают, что лишь немногие новые здания имеют повышенный класс энергоэффективности, почти четверть обследованных объектов имеет пониженный класс энергоэффективности. Обязательный тепловизионный контроль в сочетании с мерами экономического стимулирования должен способствовать строительству энергоэффективных зданий и экономии топливно-энергетических ресурсов.

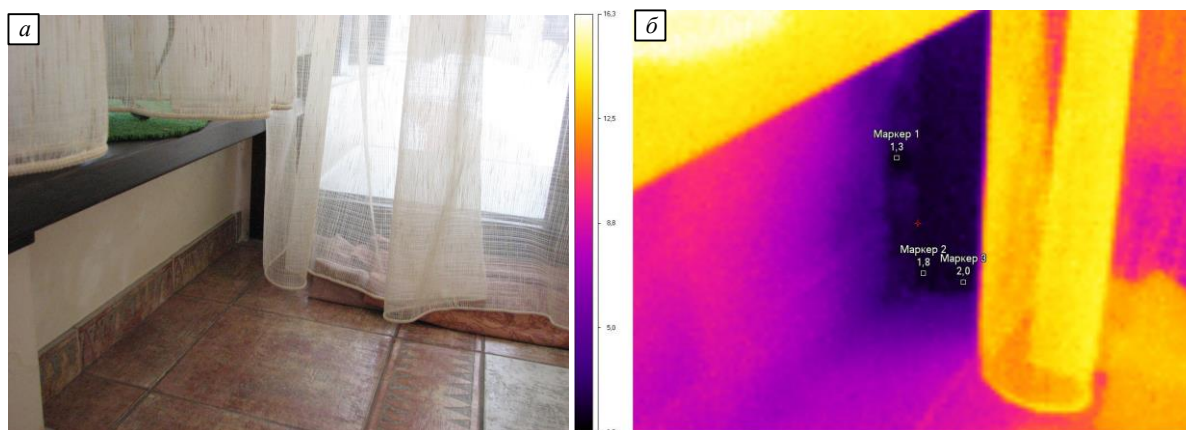


Рис. 5. Скрытые дефекты тепловой изоляции несущей стены:
а – фотография несущей стены; *б* – термограмма несущей стены

Выводы. Можно предположить, что дефекты теплозащиты зданий, не являющиеся критическими для несущей способности конструкций зданий в целом, существенны для микроклимата помещений. В настоящее время тепловизионная съемка – самый быстрый, эффективный и недорогой способ получения информации о реальном состоянии тепловой защиты объекта недвижимости, выявляющий скрытые дефекты неразрушающим способом. Тепловизионный мониторинг, выполняемый с определенной периодичностью, позволит не только следить за состоянием тепловой защиты зданий и сооружений, но и накапливать статистические данные, которые будут полезны проектировщикам при выборе элементов строительных конструкций и тепловой изоляции вновь строящихся или реконструируемых объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В а в и л о в В.П. Тепловидение для инженеров: учебное пособие. – Томск: изд. Томского политехн. ун-та, 2012. – 127 с.
2. Д р о з д о в В.А., С у х а р е в В.И. Термография в строительстве. – М.: Стройиздат, 1987. – 238 с.
3. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: Госстрой России, 2004. – 352 с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. – 47 с.
5. Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах. – РД-13-04-2006. – Ростехнадзор, 2006. – 50 с.
6. Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритного тепловизора (ВСН 43-96). Утв. 30.07.96 Департаментом строительства г. Москвы. – 21 с.
7. А б р а м о в а Е.В., В а в и л о в В.П., Ч у л к о в А.О., Л а р и о ш и н а И.А. Методические рекомендации по энергетическому аудиту строительных зданий и сооружений с использованием метода инфракрасной термографии. – Томск: изд. Томского политехн. ун-та, 2012. – 49 с.
8. ГОСТ 26629 – 85. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. Утв. и введен в действие Постановлением Государственного комитета по делам строительства от 5 октября 1985 г. № 173. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 14 с.
9. Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом (летний вариант). Свид. об аттестации МВИ № 02/442-2002 от 9 августа 2002 г. – 43 с.
10. Методические рекомендации по комплексному теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники. – МДС 23–1.2007. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007 – 12 с.

© 2015 г. А.А. Оленников, Е.В. Осокин,
П.П. Кирилов, Е.Л. Гуца, В.В. Николенко
Поступила 9 декабря 2015 г.

УДК 621.644.8

Е.В. Осокин, А.А. Оленников, П.П. Кирилов, В.В. Николенко, Е.Л. Гуца

Сибирский государственный индустриальный университет

ОДНА ИЗ ПРИЧИН НЕДОГРЕВА ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Важной задачей для сотрудников коммунальных служб и предприятий является обеспечение в холодное время года теплом всех жителей. Однако бывают ситуации, когда, казалось бы, при хорошей подготовке к отопительному сезону в отдельных квартирах с центральным отоплением он так и не начинается [1, 2]. Причины тому могут быть разными. Основная, наиболее часто встречающаяся в домах постройки старше 12 лет, – выпадение отложений в системе отопления. Явными признаками того, что стоякам отопления требуется промывка, являются следующие:

- отопительные приборы прогреваются неравномерно [3];
- для нагрева системы до оптимальной температуры требуется длительное время;
- во время работы системы отопления можно наблюдать посторонние и необычные шумы, которых ранее не было;
- отопительный прибор имеет существенно низкую температуру в отличие от стояков;
- наблюдается существенное увеличение расхода теплоносителя для поддержания требуемой температуры в помещениях.

Для проведения экспресс-диагностики достаточно выполнить тепловизионное обследование стояков системы отопления и выявить места отложений внутри трубопроводов [4]. На рис. 1 представлен фрагмент магистрали, на котором отчетливо видно, в каких местах системы имеются внутренние отложения.



Рис. 1. Тепловизионная картина труб систем отопления

Исследования показывают, что основной причиной сокращения срока службы систем центрального отопления (возникновения внутренних отложений на стенках труб) является заполнение системы водой без дополнительной химической подготовки [5]. В отличие от котлов и теплообменников, в которых отложения образуются, главным образом, из солей кальция и магния, осаждающихся из жесткой воды во время ее нагрева, в системах центрального отопления образуются отложения, которые состоят из продуктов коррозии (растворенных в воде оксидов железа). Эти отложения образуют шлам, тонкие или достаточно толстые слои шлама тесно прилегают к стенкам металла и имеют вид ржаво-коричневых наростов, прилегающий к стенкам трубы слой имеет черный цвет. Продукты коррозии при повышенной влажности постепенно занимают все больший объем, постепенно блокируют трубопровод, что приводит к прекращению циркуляции воды и, как следствие, к недогреву помещений.

Независимо от химического состава и структуры отложений, образующихся в системе, их появление приводит к серьезному засорению и уменьшению пропускной способности трубопроводов, повышению их шероховатости, значительному увеличению гидравлического сопротивления. Кроме этого уменьшается коэффициент теплопередачи в отопительных приборах, трубах, теплообменниках системы отопления и, соответственно, их КПД. Возрастает расход энергии, уменьшаются средняя температура отопительных приборов, количество отдаваемого в обогреваемое помещение тепла, температура в этих помещениях.

На сегодняшний день существует множество способов очистки отложений в системах отопления [6 – 9].

Гидродинамический метод промывки заключается в удалении накипи путем очистки системы отопления тонкими струями воды, подаваемыми в трубы через специальные насадки под высоким давлением. Такой способ промывки труб по стоимости более чем в два раза дешевле замены оборудования.

Пневмогидроимпульсная промывка труб позволяет проводить промывку труб путем многократных импульсов, выполняемых при помощи импульсного аппарата. Кинетическая импульсная волна создает в воде, заполняющей систему отопления, кавитационные пузырьки из газо-паровой смеси, которые образуются вследствие прохождения через жидкость акустической волны высокой интенсивности во время полупериода разряжения. При движении с током воды в область с повышенным давлением или во время полупериода сжатия кавитационный пузырек «захлопывается», излучая при этом ударную волну. Завихрения воды с воздухом отрывают отложения от стенок труб, а последующая волна воздушно-водяной смеси уносит накипь, которая поднялась со дна.

Химическая промывка трубопроводов является наиболее распространенным вариантом безразборной промывки трубопроводов, такая промывка позволяет сравнительно легко перевести в растворенное состояние большую часть накипи и отложений и в таком виде вымыть их из системы отопления. Для промывки системы отопления используются кислые и щелочные растворы различных реагентов: композиционных органических и неорганических кислот (например, составов на основе ортофосфорной кислоты, растворы едкого натра с различными присадками и другие составы). Химическая промывка труб отопления – сравнительно дешевый и надежный метод, позволяющий избавить систему отопления от накипи и загрязнения. Однако этот метод обладает определенными недостатками: невозможностью химической промывки алюминиевых труб; токсичностью промывочных растворов; существует проблема утилизации больших количеств кислотного или щелочного промывочного раствора.

На месте работ используется специальная емкость с насосом, подключаемая к системе отопления. Когда все необходимые химикаты введены в систему отопления, моющий раствор циркулирует некоторое время по системе. Время рассчитывается индивидуально в зависимости от степени загрязненности системы отопления. Химическую промывку отопления можно проводить и в зимний период, без остановки системы отопления. Такой способ промывки дешевле капитального ремонта в 10 – 15 раз и продлевает срок службы трубопроводов.

Дисперсная промывка – это инновационный способ промывки систем отопления. Отличие дисперсной промывки от химической заключается в том, что при дисперсной про-

мывке реагент проникает в структуру отложений и ослабляет механические связи между молекулами отложений, не вступая в химическую реакцию с металлом самой системы. Такая промывка имеет ряд преимуществ перед химической промывкой:

- реагенты не разрушают систему отопления, можно промывать системы с алюминиевыми радиаторами;
- промывка экологически безопасна, отработанный реагент вместе с отложениями можно утилизировать в канализацию без ущерба для биологических очистных сооружений;
- отложения выводятся из системы в виде мелкодисперсной фракции, не забивая трубы;
- промывочный раствор создает защитную гидрофобную пленку на внутренних поверхностях трубопровода, защищает систему и продлевает срок ее эксплуатации.

Технология промывки заключается в следующем: к системе отопления подключается циркуляционный насос, заправляется реагент в расчетном количестве; система включается на циркуляцию. Реагент диспергирует (проникает) внутрь отложений, ослабляет механические связи отложений на молекулярном уровне и смывается потоком теплоносителя. По мере загрязнения раствора он смывается в канализацию. Дисперсную промывку отопления можно проводить и в зимний период, без нарушения температурного режима. Для этого устанавливается внешний теплообменный аппарат, который обеспечивает замкнутый контур системы отопления здания с подогревом от централизованной сети.

Электрогидроимпульсная очистка предназначена для очистки от накипи и отложений оборудования широкого спектра. Принцип действия установок основан на использовании энергии электрического разряда в воде: ударная волна и гидродинамические потоки, образующиеся при разряде в воде, разрушают накипь, не повреждая трубу. Однако данный способ опасен для электронных расходомеров, установленных на тепловом узле, и, как показывает практика, в большинстве случаев выводит их из строя.

Для того, чтобы определить способ промывки, требуется провести диагностику и определить состав отложений. В качестве примера рассмотрим жилой дом, находящийся в г. Осинники Кемеровской области. За последние два отопительных сезона (2013 и 2014 гг.) жители буквально засыпали жалобами свою управляющую компанию, утверждая, что в их квартирах температура не поднимается

выше 19 °С при норме 21 – 23 °С [10]. При этом тем-



Рис. 2. Фрагмент стояка отопления с внутренними отложениями

пература и давление теплоносителя на вводе в здание соответствовали проектным значениям.

Учеными СибГИУ совместно с сотрудниками ООО «Кузнецк Эксперт» была исследована система отопления жилого здания, в результате выяснилось, что причиной недогрева помещений являются образовавшиеся отложения внутри труб. В подтверждение этому была выполнена тепловизионная съемка и разрез проблемных участков системы отопления. На рис. 2 показан фрагмент стальной трубы, вырезанной из одного из стояков.

На рис. 3 приведен химический состав внутренних отложений, полученный в результате выполненного анализа. Наиболее вредным является магнезит в виде Fe_3O_4 , крайне трудно растворимый даже в концентрированных минеральных кислотах.

Специалисты выяснили, что внутренние отложения создают дополнительные потери давления в системе и выступают своего рода тепловой изоляцией изнутри. Именно из-за этого резко снижаются теплопроводность и температура. Если не предпринимать никаких действий, то затраты на топливо будут возрастать, а эффективность работы системы отопления будет только снижаться. Помимо прочего, это еще и невыгодно экономически, поскольку хозяева помещений будут вынуждены затрачивать немалые суммы на дополнительную тепловую энергию, а также периодически

оплачивать штрафы за перегрев обратной магистрали сетевой воды.

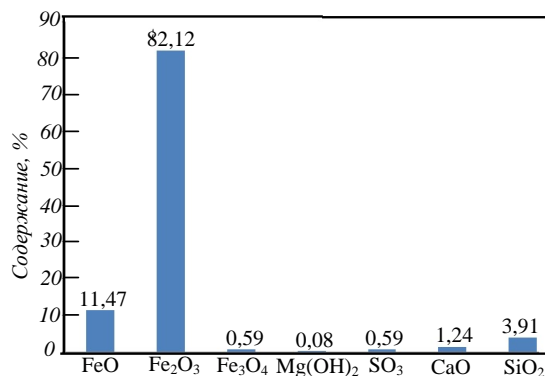


Рис. 3. Химический состав отложений

Для решения возникшей проблемы была предложена разработанная учеными СибГИУ установка для очистки стояков системы отопления путем подачи воздушно-кислотной среды под давлением 0,6 МПа. Эта установка комбинирует пневмогидроимпульсный и химический способы промывки. Принципиальная схема установки показана на рис. 4.

До применения такого способа очистки необходимо тщательно обследовать систему на следы внешней коррозии и свищей. Если их не обнаружено, то логично приступить к промывочным работам. Процесс начинается с промывки стояка сетевой водой: к шаровому крану 8 (рис. 4) подсоединяют шлангу, отведенную в систему канализации; открывают краны 5 и 8, при этом запорная арматура 6 и 7 должна быть закрыта. Начинается процесс промывки стояка сетевой водой. По окончании промывки таким способом отработанная вода стояка должна быть прозрачной.

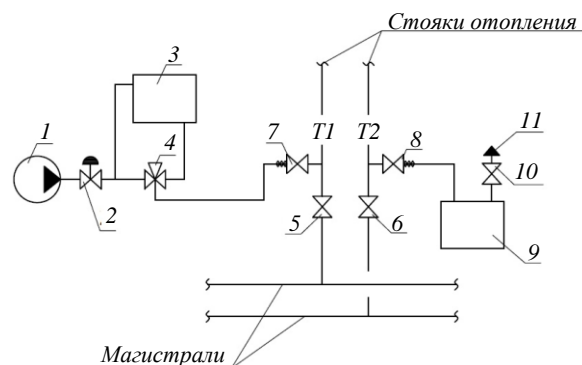


Рис. 4. Принципиальная схема для очистки стоков системы отопления:

1 – воздушный компрессор; 2 – регулятор давления; 3 – емкостный бак для реагентов; 4 – смешивающий клапан; 5, 6 – отсечные краны труб T1 и T2; 7, 8 – краны для спуска воды; 9 – накопительная емкость отработанной жидкости; 10 – шаровый кран; 11 – автоматический воздушник

Затем приступают к воздушно-кислотному промыванию: закрывают запорную арматуру 5 и 6, открывают краны 7 и 8 для полного опорожнения стояка. Через сгон на кране 7 подключают установку: воздушный компрессор 1 под давлением 0,6 МПа через редуктор 2 подает сжатый воздух в емкостный бак с реагентами 3. Стоит отметить, что в качестве реагентов используется смесь воды с ангидридом уксусной кислоты. Смешивающий клапан 4 предназначен для приготовления воздушно-кислотной смеси в пропорции жидкости к воздуху 5:1. Под давлением реагент поступает в систему. Первоначально рекомендуется заполнить стояк, отключить установку и, не сливая смесь, выдержать около 15 мин. По истечении времени необходимо открыть кран 8 и запустить установку в пульсирующем режиме. Часть отложений внутри стояка начнет вымываться, поступая в накопительную емкость отработанной жидкости 9. Крупная фракция оседает, отстоявшаяся смесь заправляется в бак 3; процесс повторяется 3 – 5 раз в зависимости от загрязнения.

После воздушно-кислотной очистки повторяют процедуру промывки стояка системы отопления сетевой водой. Затем опорожняют стояк и эндоскопом проверяют качество выполненных работ. На рис. 5 показаны фрагменты трубопроводов после очистки. Затем стояк заполняют, выпускают воздух и вводят в рабочий режим. Завершающим этапом является составление акта, который подписывают лица, ответственные за проведение очистки. В акте в обязательном порядке указывают время и дату работ.

Выводы. По оценке специалистов промывка стояков системы отопления по предложенному способу промывки считается удовлетворительной. Эндоскопическое обследование показало, что эффективность очистки всех стояков находится в диапазоне 70 – 80 %. Если тщательно выполнять промывку системы отопления сетевой водой в межсезонье, как это и предполагается, то вполне реально еще 5 – 8 лет использовать существующие трубы системы отопления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парамонова Е.Ю., Елистратова Ю.В., Семенов А.С. Проблема перетопов и недотопов в отопительный период // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 48 – 50.
2. Елистратова Ю.В., Семенов А.С., Минко В.А. Сравнительные критерии систем отопления. – В кн.: Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов: междунар. науч.-практ. конф. Белгород. гос. технол. ун-т. – Белгород: изд. БГТУ, 2012. – 420 с.
3. Тютюнов Д.Н., Кобелев Н.С., Федоров С.С., Студеникина Л.И., Пихлап А.Ф., Бойцов А.В., Минко В.А., Семенов А.С. Исследование зависимости температуры теплоносителя от длины трубопроводов системы отопления // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 3 (48). С. 167 – 171.

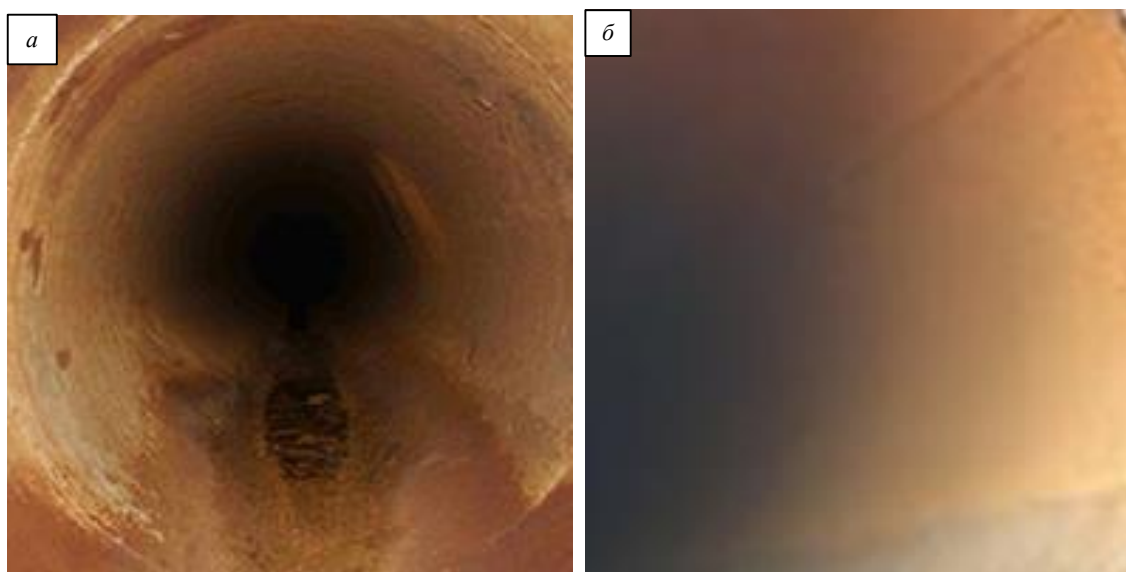


Рис. 5. Подводка к отопительному прибору (а) и стояк (б) после воздушно-кислотной промывки

4. РД 153-34.0-20.364-00. Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования. – М.: ОРГРЭС, 2000. – 50 с.
5. Л и ф щ и ц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. – М.: Энергия, 1976. – 288 с.
6. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок в вопросах и ответах. Пособие для изучения и подготовки к проверке знаний. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 160 с.
7. МУ 34-70-171-87. Методические указания по определению готовности систем теплоснабжения к прохождению отопительного сезона: – М.: СПО Союзтехэнерго, 1987. – 65 с.
8. Р э т Д. Теория накипи или практика магнетизма // Мир новосела. 2002. № 1. С. 92 – 98.
9. РД 34.20.327-87. Методические указания по гидропневматической промывке водяных тепловых сетей. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1989. – 36 с.
10. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введ. 2013–01–01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.

© 2015 г. *Е.В. Осокин, А.А. Оленников, П.П. Кирилов, В.В. Николенко, Е.Л. Гуца*
Поступила 9 декабря 2015 г.

Ю.К. Осипов

Сибирский государственный индустриальный университет

ЖИЛОЙ ДОМ С ИНТЕРЬЕРНО-ЛАНДШАФТНЫМИ ЗОНАМИ И ЭЛЕМЕНТАМИ ГОРОДСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

«Если существует на свете святая
профессия, то это строительство жилья»
Ле Карбюзье

Демографы прогнозируют: из 7 миллиардов человек населения планеты в начале 21 века – 5,5 млрд. будут жить в городах. Урбанизация как неизбежное следствие индустриализации создает серьезные экологические проблемы, а развитие мегаполисов несет изменения естественных условий жизни: загрязнение атмосферного воздуха, высокий уровень шума, мир камня и бетона, изолированных пространств. Все это ведет к повышению заболеваемости, негативных сдвигов в психике городских жителей.

Связь внутреннего пространства жилого дома с внешним. Формирование жилого дома зависит от анализа и учета множества факторов: социальных, функциональных, природно-климатических, градостроительных, строительного-конструктивных и экономических. В специальной литературе влияние этих факторов на проектирование жилья освещено достаточно подробно, поэтому здесь рассматривается только тема непосредственной связи жилища с внешней средой [1 – 5].

Внутреннее пространство жилого дома (интерьер) имеет несколько различных по характеру промежуточных пространств, связывающих его с внешней средой. Их можно разделить на три группы: климатический буфер, интерьерно-ландшафтная зона и зона общественного назначения.

Климатический буфер образует пространства, используемые как промежуточные зоны, которые обеспечивают постепенный переход от наружной среды и сокращают потребности в отоплении. К таким промежуточным пространствам относятся тамбуры, холлы, переходы. Тамбур и холл образуют входной узел дома. Основная задача его организации состоит в предотвращении проникания потоков холодного воздуха в здание. Сложность и значимость вопросов проектирования входных уз-

лов в жилых зданиях возрастает в условиях низких температур, особенно в домах повышенной этажности, из-за возникновения в лестнично-лифтовых коммуникациях так называемого эффекта вытяжной трубы, который резко увеличивает воздухообмен здания, а следовательно, и теплопотери. Поэтому при входе в здание необходимы двойной тамбур и резервуар воздуха, уменьшающий затягивание наружного воздуха в лестничную клетку. Роль такого резервуара может выполнять специальное буферное пространство (холодный аванвестибюль).

С этой целью в особо суровых районах число входов в дом сокращают до минимума: первый этаж делают проходным во все лифтовые холлы.

В северных районах прибегают к формированию буферной зоны в пространстве цокольного этажа и чердака. Теплый воздух, поднимающийся естественным образом вверх, обеспечивает на чердаке температуру воздуха на несколько градусов выше, чем в основном объеме дома. Поэтому здесь целесообразно размещение площадок для сушки белья, хозяйственных кладовых, а также оранжерей и зимних садов.

Размещение в цокольном (или подвальном) этаже гаражей, спортивных залов или хозяйственно-бытовых помещений с организацией искусственной вентиляции воздуха может обеспечить еще один климатический буфер, поскольку микроклимат здания в большей степени зависит от температурно-влажностного режима подвала.

Вторую группу промежуточных пространств составляют элементы зданий, которые могут быть охарактеризованы как интерьерно-ландшафтные зоны. Целями их формирования являются:

- приближение пейзажа, непосредственная визуальная связь с ними;

- введение природных элементов и естественного ландшафта непосредственно в интерьер.

Не случайно элементы, составляющие интерьерно-ландшафтные зоны (террасы, балконы, лоджии, веранды, атриумы и зимние сады), имеют прежде всего рекреационные функции, поскольку в их оформлении решающую роль играют компоненты ландшафта (газоны, цветы, деревья и т.п.). Здесь проявляется тяга человека к некому «оазису», отличному от шумных загазованных городских пространств, с одной стороны, и замкнутого интерьера квартиры, с другой.

Кроме того, интерьерно-ландшафтная зона может играть роль композиционного стержня всей пространственной структуры квартиры, дома. Единый принцип построения пространства от малого (передняя) к большому (столовая) создает ощущение нарастающего ритма и эмоционального импульса движения.

Во всем мире условием высокого комфорта современного жилища считается наличие в нем интерьерно-ландшафтной зоны.

Анализ факторов, влияющих на формирование жилого дома, предопределяет направленность исследований, выполняемых на кафедре архитектуры СибГИУ. Конечной целью исследований являлась разработка проекта 16-ти этажного жилого дома с активным использованием рекреационных пространств на балконах и лоджиях. Ключевым в решении этого вопроса стало создание двух нежилых этажей – рекреации, предназначенных для организации зимнего сада в холодный период года. В летний период зимний сад превращается в интерьерно-ландшафтную зону, отличную от городской среды и создающую ощущение близости к природе (рис. 1).

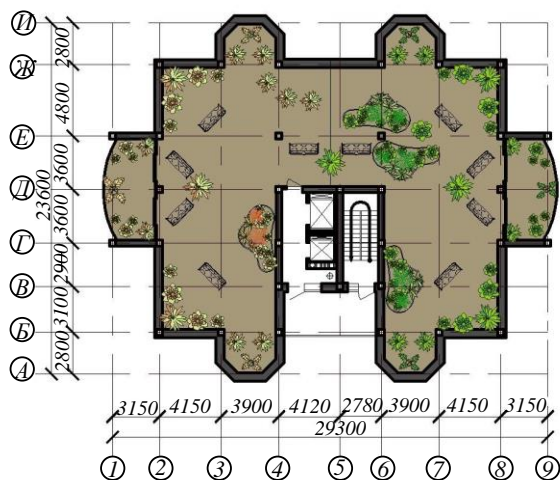


Рис. 1. План этажа рекреации

Пространство организовано с большим количеством карликовых декоративных деревьев, кустарника, вазонов с цветами, мест для отдыха. Увеличенная площадь балконов и лоджий позволит разместить, кроме традиционных цветочных композиций, контейнеры для выращивания некоторого количества овощных культур, вегетационный период которых укладывается в теплый период сибирского лета. Это и есть элементы городского земледелия, являющегося составной частью интерьерно-ландшафтной зоны, которая в конечном и завершённом виде является композиционным стержнем пространственной структуры дома (рис. 2).

Объемно-планировочные параметры дома следующие: размеры в осях 29,3×23,6 м. Тринадцать основных этажей здания – жилые, первый этаж – административный, также имеются технический чердак на отметке +52,800 м и подвал на отметке –2,400 м. В подвале расположены инженерные коммуникации и хозяйственные помещения для 70 % квартир.

Этажи имеют квадратное очертание в плане. На первом этаже размещены колясочная, пост охраны и предусмотрены площади под офисы с отдельными входными узлами.



Рис. 2. Фасад здания

На каждом из этажей жилой зоны расположено по пять квартир: четыре – двухкомнатные, одна – однокомнатная. Площади комнат различны. Планировочное решение пространств квартир (рис. 3) основано на протекающих в ней жизненных процессах: просторные коридоры между комнатами, удобные подходы к спальным зонам и общим комнатам.

За отметку 0,000 условно принята отметка чистого пола первого этажа. Высота жилых этажей 3,3 м, подвала 2,55 м, технического этажа 2 м. Высота здания от уровня земли до верха крыши 57,1 м.

Сообщение между этажами осуществляется по двухмаршевой лестнице и с помощью двух лифтов: грузового и пассажирского. Вход в подвал и складские помещения осуществляется с отметки первого этажа.

Освещение здания совмещенное. Часть помещений в здании по внешнему контуру освещена естественным солнечным светом, а для освещения центральной части применяется искусственный рассеянный свет.

Несущий остов здания представляет собой монолитный железобетонный каркас с кирпичным стеновым заполнением.

Наружные стены – кирпичная кладка из обыкновенного полнотелого глиняного кирпича с наружным утеплением из экструдированного пенополистирола марки «Руфмат». Внутренние стены – кирпичные с нормируемой шумоизоляцией и последующей отделкой. Перегородки – кирпичные с последующей отделкой. Фундамент – свайный, столбчатый.

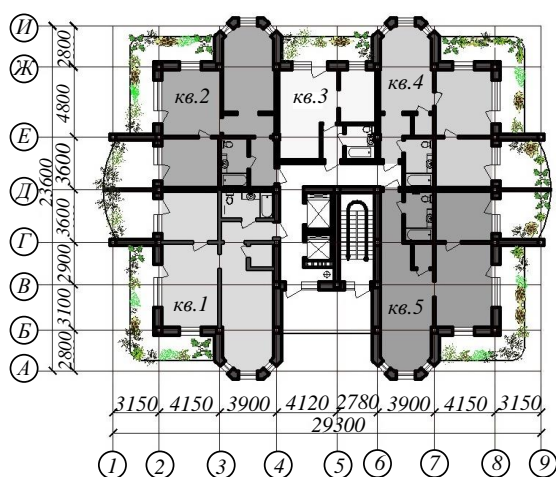


Рис. 3. План типового этажа

Чердак утепленный, предназначен для обеспечения вентиляции подкровельной зоны, а также для размещения лифтового и другого инженерного оборудования. Кровля плоская. На покрытии имеются декоративные неэксплуатируемые башни с ложными окнами. Технический этаж утепленный. Водосток внутренних.

Основной целью проекта было создать ощущение близости жильцов к природе независимо от того, на каком этаже они живут. Благодаря тени от растений внутренние помещения будут меньше нагреваться летом и лучше сохранять тепло зимой. Зелень на балконах квартир очищает воздух внутри помещения и обеспечивает снижение уровня шума. Особый микроклимат, созданный в квартире, благодаря естественному саду позволяет человеку забыть о суете города, наслаждаясь тишиной и уединением.

Выводы. На стадии архитектурного решения возможно создать проект жилого дома повышенной этажности с устройством активных интерьерно-ландшафтных зон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экологическое строительство в России [Электронный ресурс] //Национальное агентство устойчивого развития [Официальный сайт]. URL: <http://green-agency.ru/ekologicheskoe-stroitelstvo-v-rossii/> (дата обращения: 13.04.2015).
2. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2005.
3. Рафаиер Ф. Высотные здания: объемно-планировочные и конструктивные решения. – М.: Стройиздат, 1982. – 180 с.
4. Осипов Ю.К., Матехина О.В., Семинов А.П. Архитектурно-строительные конструкции и детали жилых зданий: Учеб. пособие – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 406 с.
5. Осипов Ю.К., Матехина О.В. Малые архитектурные формы в пространстве городской среды // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 2 (12). С. 61 – 63.

© 2015 г. Ю.К. Осипов
Поступила 19 октября 2015 г.

УДК 691.233:[658.567.1:622+669]

Е.А. Блажных, А.А. Карпачева, Ж.М. Чердниченко

Сибирский государственный индустриальный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проблема переработки техногенных продуктов и отходов промышленных предприятий особенно актуальна для индустриального Кузбасса [1]. Использование вторичных минеральных ресурсов для расширения сырьевой базы стройиндустрии региона имеет важное значение не только с экологической точки зрения, но также с архитектурно-градостроительной. Большое количество зданий и сооружений, построенных в периоды конструктивизма и модернизма на территории Кемеровской области, лишены декоративных элементов, частично утратили их и нуждаются в обновлении, реконструкции, модернизации и эстетизации [2].

Настоящая работа направлена на исследование вторичных минеральных ресурсов предприятий городов Новокузнецка и Таштагола: отходов теплоэнергетики, горно-рудной промышленности, металлургии. Составы и смеси с требуемыми физико-механическими показателями, полученные с применением техногенного сырья, будут направлены в перспективе на выпуск недорогих декоративных отделочных и дорожных материалов.

Экспериментальные исследования проведены в лаборатории «Строительные материалы» Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ).

Использование алюмосиликатных микросфер в строительстве в качестве наполнителя в легких бетонах, красках, в смеси для огнезащитной обработки поверхности рассмотрено в работе [3]. Патент [4] позволяет увеличить количество вариантов отделки внешних поверхностей зданий и сооружений, придать разнобразную фактуру поверхности (под природный камень, дерево, бетон и пр.). Цветность поверхности придают введением различных неорганических пигментов (красного, желтого, черного и др.) в количестве 3 – 5 % для получения требуемой интенсивности окраски.

Планирование исследовательских работ включает два этапа.

Первый этап:

– исследование исходных сырьевых материалов (физических свойств, химического состава, минерального состава, фазового состава,

радиоактивности, токсичности, определение возможности использования в строительстве);

– подбор составов (методом математического планирования эксперимента);

– формование образцов;

– определение физико-механических показателей образцов;

– определение и построение зависимостей физико-механических показателей образцов от составов наполнителей, смесей;

– исследование составов пигментов (получение цветных декоративных материалов);

– тонкие исследования (микроскопия, рентгенофазовый анализ, дериватография) полученных образцов.

Второй этап:

– определение оптимального режима вибропрессования;

– определение оптимального режима твердения;

– формирование заявки на патент на изобретение РФ;

– опытно-промышленные испытания пробных образцов;

– составление технологического регламента;

– участие в выставке-ярмарке «Архитектура. Строительные материалы и технологии» с представлением инновационной продукции;

– публикация результатов исследований;

– расширение номенклатуры выпускаемой продукции;

– долготлетние испытания образцов на прочность, морозостойкость и далее испытания опытно-промышленной партии.

Ожидаемые результаты: получение мелкозернистого бетона и декоративных растворов. Их отличие от «традиционных» составов:

– максимальное использование техногенных продуктов, в том числе и в качестве вяжущего компонента (опираясь на патенты и авторские разработки лаборатории «Строительные материалы»);

– себестоимость выпускаемой продукции значительно ниже себестоимости аналогичных декоративных материалов за счет использования местного сырья – вторичных минеральных



Рис. 1. Проект жилого дома усадебного типа с использованием декоративных материалов

ресурсов; сырье не нужно везти издалека, и, соответственно, транспортной составляющей в себестоимости нет. Исходные материалы – это техногенные продукты, которые являются отходами, поэтому не нужно получать лицензию на использование недр, проводить вскрышные работы и дорогостоящую добычу;

– выпускаемая продукция по своим физико-механическим свойствам, декоративности, долговечности не будет уступать природным аналогам, так как химические составы вторичных минеральных ресурсов сопоставимы с природным сырьем.

Номенклатура продукции может быть весьма разнообразной – более 60 типоразмеров тротуарной и 10 типоразмеров фасадной плитки. Вся продукция будет соответствовать требованиям ГОСТ 17608 – 91 «Плиты бетонные тротуарные».

Себестоимость продукции на основе техногенных продуктов составит 200 руб./ м² (в пересчете на 1 м³ при толщине плитки 5 см – 4000 руб.). Возможность получения цветных стеновых изделий, отделочных плит, дорожных материалов привлечет большое количество потенциальных заказчиков (рис. 1).

Определен потенциальный рынок сбыта готовой продукции: в первую очередь это город Новокузнецк и Новокузнецкий район, затем – города Кемеровской области, другие регионы РФ.

Проведение опытно-промышленных испытаний и внедрение результатов исследования в производственный цикл проводится на базе строительной компании ООО «Шерегеш-проект». Апробация НИР проведена при реорганизация Студенческого сквера и благоустройстве территории университетского кампуса (согласно заданию на проектирование от ректората СибГИУ) (рис. 2, 3).

Выводы. Исследование по разработке и оптимизации составов отделочных и декоративных материалов на основе вторичных минеральных ресурсов позволяет:

- улучшить ряд экологических аспектов окружающей среды Кемеровской области;
- увеличить номенклатуру продукции выпускаемых декоративных изделий и составов отделочных материалов, уменьшить ее себестоимость;
- использовать результаты исследований в учебной деятельности, при подготовке студентов, обучающихся по направлениям подготовки Строительство и Архитектура.



Рис. 2. Территория университетского кампуса с проектным предложением благоустройства и озеленения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П а н о в а В.Ф., П а н о в С.А. Модель работы с техногенными продуктами как сырьем для стройиндустрии // Вестник СибГИУ. 2012. № 1. С. 47 – 50.
2. Ж у р а в к о в Ю.М., Б л а г и н ы х Е.А. Формирование архитектурно- градостроительной среды индустриального города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31–1 (50). С. 77 – 83.
3. П а н о в а В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – 288 с.
4. Патент № 2453430 РФ. Способ получения бетонных изделий с рельефным декоративным слоем / А.С. Болянов, В.Ф. Панова, А.А. Карпачева // Изобретения. Полезные модели. 2012. № 18. Заявл. 27.12.2010. Оpubл. 20.06.2012.
5. Полезная модель 108064 РФ. Декоративная плита для малых архитектурных форм / А.С. Болянов, Е.А. Благиных. Заявл. 11.01.2011. Оpubл. 10.09.2011. № 26.

© 2015 г. Е.А. Благиных, А.А. Карпачева,
Ж.М. Чердниченко
Поступила 05 декабря 2015 г.



Рис. 3. Реорганизация Студенческого сквера с разработкой декоративной клумбы

А.С. Иванов, А.Т. Мещерин, Ю.А. Мещерина, Е.В. Пугачев, Э.Е. Пугачева

Сибирский государственный индустриальный университет

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЗАДАТЧИК ХОДА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ

Программируемый задатчик хода шахтной подъемной машины ПЗХ-2 предназначен для использования вместо устаревших устройств защиты, контроля параметров и отображения информации, применяемых на подъемных установках в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых».

Функциями аппарата ПЗХ-2 являются определение положения левого и правого сосудов, измерения мгновенного значения скорости и направления их движения, защиты подъемной установки от возможных инцидентов, связанных с превышением скорости, переподъемов скипов выше приемной площадки, застреванием скипов.

Рабочая диаграмма движения скипов и защитная диаграмма, реализуемая аппаратом ПЗХ-2, представлены на рис. 1.

Пересечение защитной и рабочей диаграмм свидетельствует о превышении скипами предельно допустимой скорости на участке. При этом срабатывает предохранительный тормоз (ТП). Диаграмма в зоне защитного замедления представляет собой параболу, которая задана функцией скорости от пути.

Своевременное уменьшение скорости скипов в зоне замедления осуществляется по командам, вырабатываемым аппаратом ПЗХ-2 («Основное замедление», «Подход»).

мандам аппарата ПЗХ-2 также контролируется переподъем скипов.

Расчет положения скипов в стволе и скорости барабана осуществляется посредством импульсов, получаемых от датчиков скорости. Сравнение расчетных положений скипов с их истинным положением происходит в контрольных точках – местах установки датчика точной остановки (ДТО).

Места установки датчиков прохождения скипами контрольных точек (точной остановки, подхода, основного замедления) представлены на рис. 2.

Функциональная структура взаимодействия датчиков скорости, аппаратов ПЗХ-2 и технологической автоматики представлена на рис. 3.

В системе управления предусмотрено дублирование датчиков скорости. Каждый датчик имеет два выходных канала (канал А, канал В), по которым передается последовательность путевых импульсов. Импульсы по каналам сдвинуты во времени для определения направления вращения.

Сигналы с датчиков скорости передаются в аппараты ПЗХ-2. По частоте следования импульсов определяется скорость вращения барабана, а также пути, пройденные левым и правым скипами.

Информация от датчиков точной остановки скипов необходима для вычисления скорости барабана и положения левого и правого скипов. В процессе работы подъемной машины

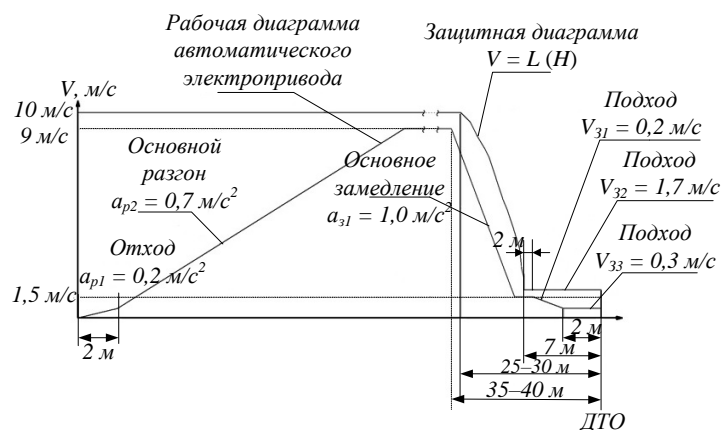


Рис. 1. Диаграмма движения и защиты подъемной установки

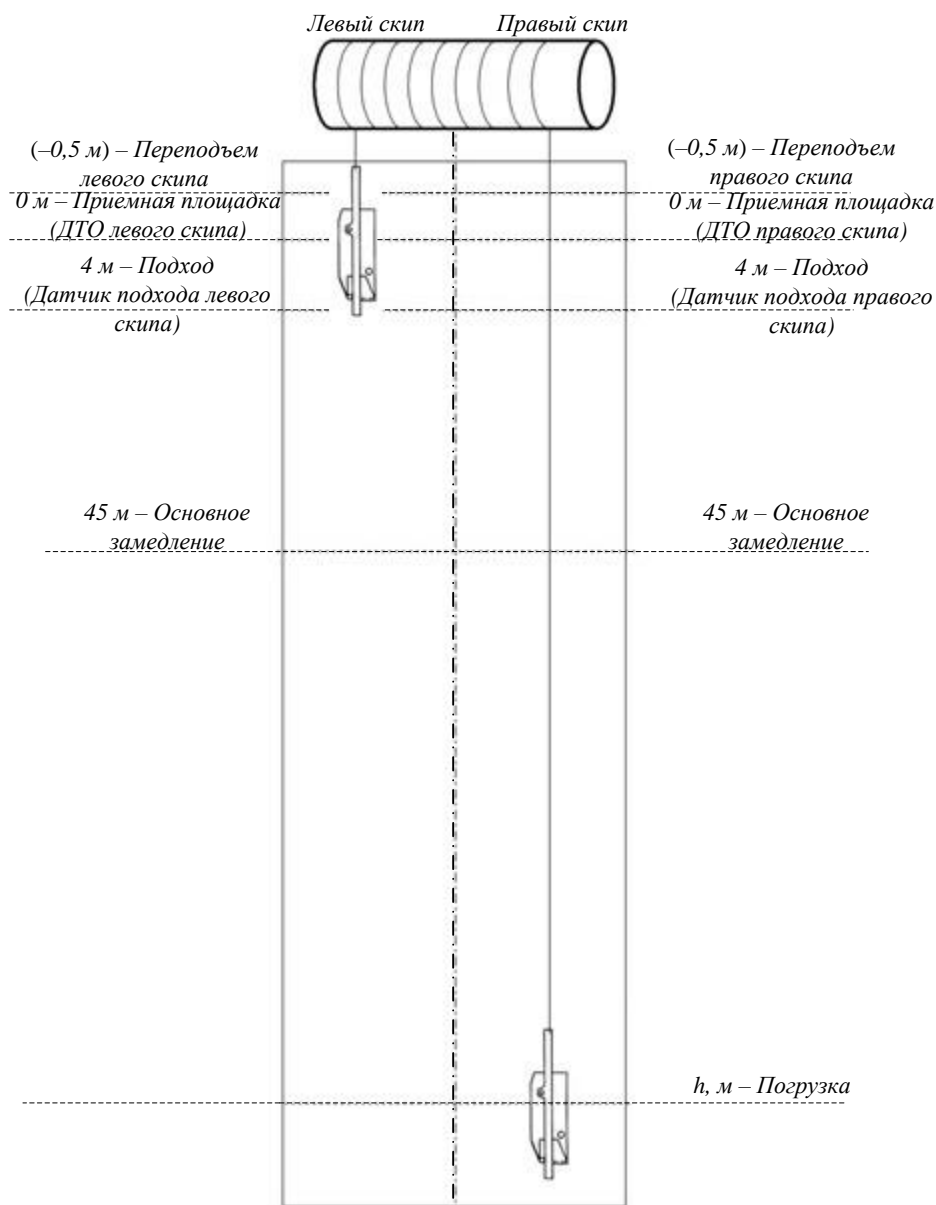


Рис. 2. Установка датчиков в стволе подъемной установки

расстояние h между точными остановками остается неизменным, однако вследствие вытягивания каната количество импульсов от датчиков скорости между точными остановками может измениться. Аппарат ПЗХ-2 распознает данную ситуацию и производит плавную автокоррекцию с программируемым шагом Δh при условии, что один из скипов находится на уровне точной остановки.

В случае, если ошибка вычисления аппаратом ПЗХ-2 расстояния между точными остановками превышает программируемую уставку, то при наезде одного из скипов на точную остановку вырабатывается команда «Сбой ПЗХ». При срабатывании датчиков точной остановки поступают команды «Основное замедление», «Подход скипа к разгрузочной

площадке». Информация от датчиков подхода левого и правого скипов используется для выработки команд: «Застревание левого скипа»; «Застревание правого скипа».

Застревание скипа обусловлено конструктивной особенностью направляющих и скипов. Датчики точной остановки расположены выше датчиков подхода левого или правого скипов. Застревание скипа в основном происходит при его движении вниз от точной остановки. При этом команды «Застревание левого скипа», «Застревание правого скипа» формируются при условии, что путь, рассчитанный аппаратом ПЗХ-2, при движении скипа вниз от точной остановки превышает на один метр уставку $h_{\text{подх}}$ и отсутствуют сигналы от датчиков подхода левого и правого скипов.

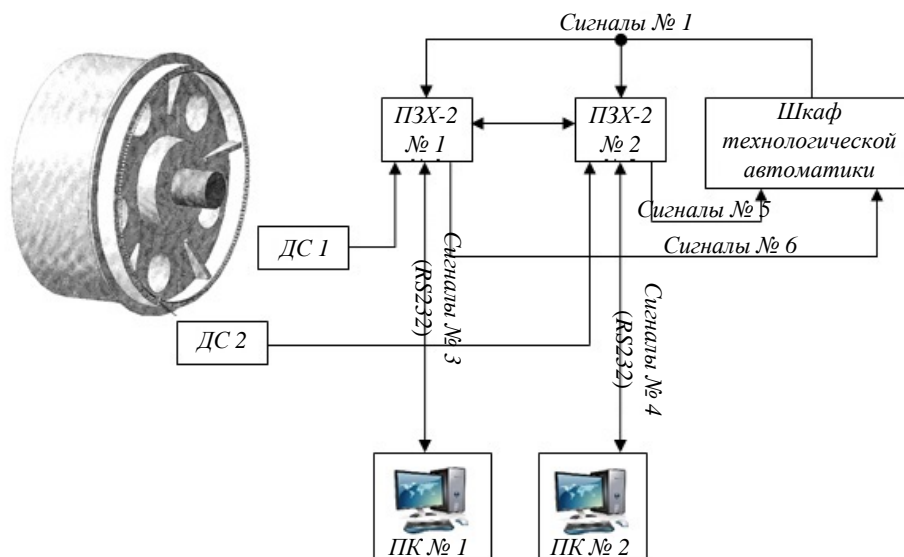


Рис. 3. Функциональная структура взаимодействия датчиков скорости, аппаратов ПЗХ и технологической автоматики

Команда «Основное замедление» формируется при прохождении левым и правым скипами заданного значения $h_{зам}$ при условии, что отсчет ведется относительно места установки датчиков точной остановки. Команда «Основное замедление» сохраняет активность до поступления сигнала с датчика точной остановки левого или правого скипов. Значение $h_{зам}$ задается при программировании ПЗХ-2.

Команда «Подход скипа к разгрузочной площадке» формируется при прохождении левым и правым скипами заданного значения $h_{подх}$ при условии, что отсчет ведется относительно места установки датчиков точной остановки. Команда «Подход скипа к разгрузочной площадке» сохраняет активность до поступления сигнала с датчика точной остановки левого или правого скипов. Значение $h_{подх}$ задается при программировании ПЗХ-2.

Команды «Переподъем левого скипа» и «Переподъем правого скипа» формируются при прохождении левым и правым скипами заданного значения $h_{пд}$ при условии, что отсчет ведется относительно места расположения датчиков точной остановки.

Команда «Переподъем левого скипа» сбрасывается сигналом «Заряд ТП» при условии наличия команды «Левый скип вниз». В случае, если после сброса команды «Переподъем левого скипа» скип находится в зоне переподъема, а команда «Левый скип вниз» исчезает, команда «Переподъем левого скипа» активируется вновь. Таким же образом обрабатывается сигнал «Переподъем правого скипа».

Если после заряда ТП скип находится в зоне переподъема, контроль направления съезда ПЗХ-2 не производит. Функция контроля

направления съезда отводится машинисту подъемной машины и шкафу технологических защит. Значение $h_{пд}$ задается при программировании ПЗХ-2.

Команды «Застревание левого скипа», «Застревание правого скипа» формируются при условии, что путь, рассчитанный аппаратом ПЗХ-2, при движении скипа вниз от точной остановки превышает на один метр уставку $h_{подх}$, и отсутствуют сигналы от датчиков подхода левого и правого скипов.

Команды «Застревание левого скипа» или «Застревание правого скипа» сохраняют активность до прихода импульсного сигнала «Заряд ТП». Значение $h_{подх}$ задается при программировании ПЗХ-2.

Формирование диаграммы защиты осуществляется с целью контроля скорости скипов при нахождении их в зоне подхода к разгрузочным кривым. Защитная диаграмма состоит из трех зон: разгона и движения с равномерной скоростью; защитного замедления; дотягивания.

В зоне разгона и движения с равномерной скоростью уставка $V_{защит}$ представляет собой постоянную величину, равную $1,15V_{max}$, где V_{max} – максимальная линейная скорость скипов. Зона разгона и движения с равномерной скоростью определяется от точной остановки до уставки $h_{нзд}$. Вид диаграммы в этой зоне параболический (рис. 1). Расчет указанной диаграммы скорости осуществляет аппарат ПЗХ-2 исходя из следующих программируемых значений: начало защитной диаграммы – $h_{нзд}$, м; окончание защитной диаграммы – $h_{озд}$, м; максимальная скорость – V_{max} .

Расчет диаграммы защит определяется следующими соотношениями:

расчет защитного замедления

$$2a_{\text{зам}}S_{\text{защ}} = (1,15V_{\text{max}})^2 - (1,15V_{\text{подх}})^2, \quad (1)$$

где $a_{\text{зам}}$ – защитное замедление; $S_{\text{защ}} = h_{\text{нзд}} - h_{\text{озд}}$ – зона защитного замедления; $V_{\text{подх}}$ – скорость подхода.

При этом из уравнения (1) вытекает соотношение

$$a_{\text{зам}} = \frac{(1,15V)^2 - V_{\text{подх}}^2}{2S_{\text{защ}}}. \quad (2)$$

Расчет ограничения скорости в заданной точке пути осуществляется по уравнению

$$2a_{\text{зам}}S_{\text{пути}} = (1,15V_{\text{max}})^2 - V_{\text{защ}}^2, \quad (3)$$

где $S_{\text{пути}} = h_{\text{нзд}} - h_{\text{тек}}$; $h_{\text{тек}}$ – текущее положение скипа.

Скорость скипов на диаграмме защиты определяется выражением

$$V_{\text{защ}} = \sqrt{(1,15V_{\text{max}})^2 - 2a_{\text{зам}}S_{\text{пути}}}. \quad (4)$$

На основании выражения (4) формируется диаграмма в зоне защитного замедления, представляющая собой зависимость $V_{\text{защ}}(S_{\text{пути}})$.

В зоне подхода скорость ограничена значением $V_{\text{защ}} = 1,15 V_{\text{подх}}$, м/с.

При срабатывании датчика точной остановки формирование диаграммы текущего цикла завершается и начинается новый цикл.

При превышении фактической скорости скипов значений скорости защитной диаграммы $V_{\text{защ}}$ формируется команда «Превышение скорости» с последующим сигналом «Заряд ТП».

В режиме «Ревизия» диаграмма защиты представляет собой прямую, определяемую уравнением $V_{\text{защ}} = 1,15V_{\text{рев}}$.

Значения заданных параметров $h_{\text{нзд}}$, $h_{\text{озд}}$, V_{max} , $V_{\text{подх}}$, $V_{\text{рев}}$ вводятся в аппарат программирования ПЗХ-2.

В режиме рабочего функционирования подъемной установки в зависимости от значений путевых импульсов, получаемых от датчиков скорости, с применением поправочного коэффициента, полученного в процессе калибровки, аппарат производит расчет положения обоих скипов в стволе и мгновенную скорость их движения.

Исходя из очередности получения импульсов от датчиков скорости по каналам А и В

(они сдвинуты по фазе) аппарат определяет направление движения скипов. Сравнение рассчитанного и истинного положений скипов осуществляется в контрольных точках (местах расположения датчиков точной остановки). Если рассчитанное положение не соответствует истинному, но ошибка определения положения не превышает заданного в уставках значения, аппарат производит автокоррекцию положения и последующий расчет. Если ошибка превышает заданное значение, то аппарат активирует команду «Сбой ПЗХ», а сообщение об этом сохраняется в архиве.

Для исключения ошибочного измерения скорости и направления движения скипов программируемый аппарат сравнивает рассчитанное и полученное от системы электропривода в виде аналогового сигнала значения. Если они не совпадают и (или) разница в значениях скорости превышает заданную величину, аппарат активирует команду «Сбой ПЗХ», и сообщение об этом также сохраняется в архиве.

В процессе функционирования системы автоматического управления подъемной установкой оба программируемых аппарата осуществляют независимый контроль движения скипов соответственно посредством прямого измерения скорости с последующим расчетом положения скипов и косвенного измерения и расчета.

При движении скипа вверх аппарат реализует алгоритм контроля изменения скорости. При движении вверх и достижении скипом заданной высоты, соответствующей значению «Основное замедление», аппарат активирует соответствующую команду, а при достижении высоты, соответствующей уставке «Начало защитной диаграммы», начинает расчет защитной диаграммы для области замедления и выполняет ее контроль.

Защитная диаграмма гарантирует, что на любом участке пути скорость скипа не превысит безопасное значение и, в случае применения экстренного торможения, скип успеет остановиться. Если на каком-либо участке движения фактическая скорость превысит значение, заданное защитной диаграммой, аппарат активирует команду «Превышение скорости».

При движении скипа вверх аппарат реализует алгоритм, позволяющий распознать переподъем относительно разгрузочной площадки. Если после достижения датчика точной остановки скип продолжает движение вверх и достигает значения высоты, заданное в уставке «Переподъем», аппарат активирует команду «Переподъем», за которой следуют сигналы «Заряд ТП» и «Левый (правый) скип вниз».

Таким образом, в процессе функционирования системы автоматического управления подъемной установки все аппараты системы постоянно обмениваются информацией, производят ее сравнение с заданием и в случае отклонения активируют команду «Сбой ПЗХ», сохраняя в архиве причину его возникновения. Команда «Сбой ПЗХ» также активируется при нарушении связи между аппаратами.

При получении информации с соседнего аппарата об активизации команд «Переподъем», «Застревание», «Сбой ПЗХ» эти команды также дублируются вторым аппаратом.

Активирование любой команды сопровождается соответствующей световой индикацией на главном экране.

При настройках системы допускается возможность отключения одного из аппаратов при активировании команды «Сбой ПЗХ» (при отсутствии связи между аппаратами или расхождении в значениях положения скипов). При этом система будет работать с одним аппаратом.

Система управления может работать в двух режимах ограничения скорости: «ревизия» и «груз», которые выбираются подачей соответствующей команды с пульта управления с отображением в верхней части экрана. Режим работы «груз» является основным, а режим работы «ревизия» отличается от режима «груз» характером диаграммы защиты, которая ограничивает соответствующую скорость движения скипов.

Выводы. Описана система автоматического управления подъемной установки, которая

внедрена на главной скиповой многоканатной установке рудника «Шерегеш» ОАО «Евраз-руда» и рекомендуется для расширенного внедрения на других производственных объектах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов А.С., Мещерин А.Т., Мещерина Ю.А., Пугачев Е.В., Валин Г.А., Ершов А.М., Сорокин А.А., Сухов М.В. Комплекс электрооборудования для плавного запуска мощных синхронных электродвигателей // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. статей Междунар. науч.-практич. конф. / Под ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. С. 225 – 227.
2. Пугачев Е.В., Вавиловский В.И., Харитонов В.П. Выбор тиристорных роторного и статорного коммутатора для асинхронного двигателя тиристорного привода шахтной подъемной установки // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. статей Междунар. науч.-практич. конф. / Под ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2010. С. 301 – 307.

© 2015 г. А.С. Иванов, А.Т. Мещерин, Ю.А. Мещерина, Е.В. Пугачев, Э.Е. Пугачева
Поступила 18 ноября 2015 г.

Л.Б. Павлович, А.М. Каневская

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ОТ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ, ПОСТУПАЮЩИХ ИЗ ЦЕХА ПРОИЗВОДСТВА ПРОВОЛОКИ И МЕТИЗОВ

Для человека наиболее важными являются два основных вида среды обитания: природная (биосферная) и техносферная, которая возникла в результате его воздействия. С развитием техносферы перед человечеством возникли признаки приближающейся катастрофы планетарного масштаба [1]. Наступающий глобальный кризис носит системный характер и развивается одновременно по нескольким направлениям. Одним из них является техносферная безопасность биосферы. Для нормирования загрязнения окружающей среды с целью практически полной защиты здоровья человека предлагается внедрение концепции экологического риска.

В Сибирском государственном индустриальном университете впервые проведены работы по анализу экологического риска от производственной деятельности металлургического предприятия полного цикла: коксохимического производства [2 – 4], агломерационного [5], аглоизвесткового [6], литейного [7] и др.

Настоящая работа посвящена изучению экологического риска (риска дополнительной заболеваемости работающих) от выбросов в атмосферу, поступающих из цеха по производству проволоки и метизов.

Объектом исследования выбрана промплощадка ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». Цех изготовления проволоки и метизов входит в состав сталепрокатного производства и состоит из следующих отделений: травления (с базисным складом катанки), грубого волочения, термической обработки, среднего волочения, регенерации отработанных солянокислых растворов и участков омеднения сварочной проволоки, калиброванного проката, склада готовой продукции. Первый этап цикла производства проволоки начинается с травильного стана, который находится в травильном отделении солянокислого комплекса. Для метизного производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» технологию производства катанки (травление бунтов в солянокислых растворах) выбирали за щадящие с экологической точки зрения характе-

ристики. По сравнению с травлением серной кислотой солянокислые растворы гораздо менее вредны для людей и окружающей среды. Кроме того, специально для комбината по лицензии австрийской фирмы «Рутнер» ГосНИИхлорпроект (г. Сумгаит) спроектировал первую в СССР установку регенерации отработанных солянокислых растворов. Объем сбросов резко уменьшился, попутно появилась возможность получать товарную продукцию – чистый оксид железа. Сегодня и эта технология относится к разряду экологического риска. Поэтому основным направлением развития цеха производства проволоки и метизов является внедрение технологии механической очистки поверхности катанки от окалины.

Оценку экологического риска для здоровья проводили согласно «Руководству по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки» [8]. Расчет рисков, согласно методике, разработанной Минздравом РФ, проводится в два этапа. На первом этапе выполняется расчет максимальных приземных концентраций выбросов C_{max} согласно ОНД-86 [9] по данным отчетной формы 2ТП – Воздух ЗСМК за 2011 г. [10]. На втором этапе осуществляется расчет экологического риска (Risk). Методика расчета экологического риска представлена ранее [2, 3].

Цех производства проволоки и метизов имеет 21 источник организованных выбросов (трубы): травильные ванны, печи обжига (установка регенерации соляной кислоты), линия пневмотранспорта, роликовые печи, кузнечно-термические печи, линия меднения, линия грубого волочения, склад кислоты и 1 источник (фонарь) боковых сушил. Трубы имеют высоту 15, 25, 27, 32, 38 и 80 м при общем объеме выбросов на выходе из организованных источников $92,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и неорганизованного источника – $36,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

Парогазовые выбросы представлены следующими загрязняющими веществами: пары соляной и серной кислот, гидроксид натрия,

пыль оксида железа, оксид и диоксид азота – это неканцерогенные вещества. Источники выбросов – в основном печи. Известно, что при сжигании любого вида топлива образуются канцерогенные вещества, в том числе бенз[а]пирен. В форме 2ТП – Воздух для рассматриваемого цеха выбросы бенз(а)пирена не представлены [12]. В цехе практически все оборудование подключено к очистным сооружениям (скрубберам, абсорбционной колонне, рукавным фильтрам, ротоклону) с высокой степенью очистки (90 – 99 %). Все расчеты экологических рисков выполнены с учетом работы очистных сооружений. Результаты расчетов экологического риска (Risk) от каждого организованного источника представлены в таблице. Данных количества выбросов от печи обжига (установки регенерации соляной кислоты), роликовых печей, кузнечно-термических печей, боковых сушил в бланке инвентаризации нет. Это в основном выбросы продуктов сгорания – оксид и диоксид азота [10].

Таким образом, расчеты экологического риска проведены по 16 источникам выбросов. Расчеты показали, что из 16 источников 15 (93,75 %) имеют неканцерогенный экологический риск, не превышающий допустимый уровень (0,02). Экологический риск составил от $2,18 \cdot 10^{-6}$ до 0,0054 при высотах дымовых труб от 15 до 32 м. Экологический риск допустимого уровня со всех источников определяется наличием очистных сооружений. Один источник (печь обжига) очистных сооружений не имеет, экологический риск превысил допустимый уровень в 3,8 раз по диоксиду азота.

Эта проблема, по-видимому, относится и к другим источникам, где не представлены дан-

ные по выбросам оксидов азота (роликовые и кузнечно-термические печи). В настоящее время снижение выбросов оксидов азота эффективно решается технологическими приемами эксплуатации печей [13].

Расчет экологического риска наглядно показал основную экологическую проблему цеха производства проволоки и метизов – это необходимость снижения выбросов диоксида азота от нагревательных печей и необходимость инвентаризации выбросов в атмосферу на содержание бенз[а]пирена.

Выводы. Установлены количественные характеристики экологического риска для каждого компонента, каждого источника газовоздушных выбросов в атмосферу цеха производства проволоки и метизов, обоснованы приоритетные объекты выбросов в атмосферу, заложены основы управления техносферной безопасностью цеха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А ж а ж а В.Г. НЛО. Постигание тайны. – М.: Вече, 2014. – 448 с.
2. П а в л о в и ч Л.Б., М е д в е д с к а я Е.В., С у р ж и к о в Д.В., Л у п е н к о В.Г. Оценка экологического риска от производственной деятельности коксохимического производства // Кокс и химия. 2013. № 5. С. 33 – 48.
3. Л у п е н к о В.Г., А н о н е н к о Т.Е., П а в л о в и ч Л.Б. Разработка технических решений по охране атмосферного воздуха в цехе улавливания коксохимического производства // Вестник СибГИУ. 2012. № 2. С. 27 – 29.

Неканцерогенный экологический риск от выбросов в атмосферу источников цеха производства проволоки и метизов

Источник выбросов	Число источников выбросов, штук	Высота дымовой трубы, м	Объем выбросов, м ³ /с	Состав выбросов	C _{max}	Risk
Травильные ванны	3	27	49,7	HCL	0,166	$7,3 \cdot 10^{-4}$
Линия пневмотранспорта	3	32	1,8	Пыль FeO	0,019	$9,2 \cdot 10^{-4}$
Печи обжига	1	26	2,6	NO NO ₂	0,0053 0,001	$9,2 \cdot 10^{-4}$
Линия меднения	6	15	4,1	NaOH H ₂ SO ₄	0,0004 0,002	$9,4 \cdot 10^{-4}$ $3,4 \cdot 10^{-4}$
Грубое волочение	2	15	2,4	Пыль FeO	0,035	0,0054
Склад серной кислоты	1	15	5,0	HCL	0,0009	$0,218 \cdot 10^{-6}$

4. С у р ж и к о в Д.В., П а в л о в и ч Л.Б. и др. Загрязнение приземной атмосферы как экологический фактор риска для здоровья // Вестник Карагандинского университета. Серия биология, медицина, география. 2013. № 2. С. 64 – 70.
5. М а к а р о в А.В., Р а д а е в А.В. Расчет экологического риска от организованных источников выбросов агломерационного производства / Науч. рук. С.Г. Коротков // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13 – 15 мая 2014 г. – Новокузнецк : изд. СибГИУ, 2014. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки. С. 82 – 84.
6. П а в л о в и ч Л.Б., Ш у б и н а А.О. Оценка экологического риска от выбросов в атмосферу аглоизвесткового производства // Вестник СибГИУ. 2014. № 1. С. 47, 48.
7. П а в л о в и ч Л.Б., С а д ы х о в а В.В., Ш а д р и н ц е в а Д.А. Оценка экологического риска от выбросов в атмосферу литейного производства // Вестник СибГИУ. 2014. № 1. С. 47, 48.
8. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки (Р. 2.2.1766-63). – М.: Гигиена труда, 2003. – 12 с.
9. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – М. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 97 с.
10. Бланк инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха промплощадки ОАО «ЗСМК». – Новокузнецк: изд. ЗСМК, 1987. – 97 с.
11. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин и др. – М.: НИИЭЧиГОС, 2002. – 408 с.
12. А б а с е е в В.К. Термическое и каталитическое обезвреживание отходящих газов, содержащих бенз[а]пирен // Химическая промышленность. 1973. № 1. С. 25, 26.
13. С и г а л И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.

© 2015 г. Л.Б. Павлович, А.М. Каневская
Поступила 5 октября 2015 г.

УДК 669.18

С.Г. Коротков, Н.Е. Козлова

Сибирский государственный индустриальный университет

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДОБЫЧИ И УТИЛИЗАЦИИ ШАХТНОГО МЕТАНА

Подземная разработка угольных месторождений осложняется, наряду с другими факторами, ростом газообильности пластов и вмещающих пород, что сдерживает добычу угля, повышает его себестоимость, создает угрозу безопасности труда шахтеров.

Угленосные формации – крупнейшие источники и места накопления метана в земной коре. С одной стороны, метан угольных пластов – это самостоятельное полезное ископаемое, рентабельную добычу которого можно организовать на основе скважинных технологий. С другой стороны, метан – опасный спут-

ник угля, который извлекается методами шахтной дегазации пластов для обеспечения газобезопасности работ. Газ, содержащийся в угольных пластах, по качественным показателям незначительно отличается или даже превосходит традиционный природный газ; одним из главных положительных качеств является отсутствие в нем вредных газов, например сероводорода. Переработка и использование шахтного метана возможна в двух направлениях: энергетическом (для получения тепловой и электрической энергии) и химическом (для получения химических продуктов и жид-

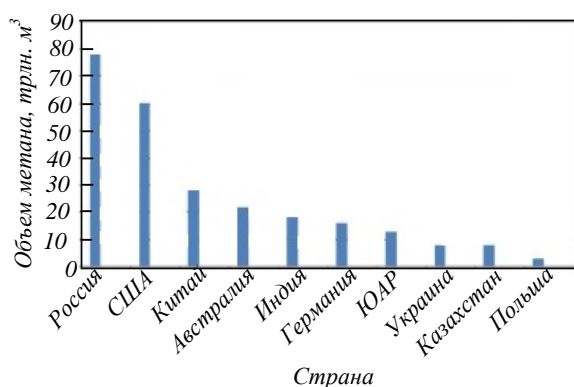
кого топлива) [1]. Утилизация шахтного метана имеет большое экологическое значение. Метан является вторым по действенности антропогенным парниковым газом после диоксида углерода. Ежегодные выбросы его в атмосферу на шахтах с нагрузкой 1 млн. т угля в год достигают 20 – 50 млн. м³. Шахтный газ является значительным, но практически не освоенным ресурсом с основными запасами, находящимися в таких странах, как Китай, Россия, США, Австралия, ЮАР, Индия, Польша, Германия, Великобритания и Украина. Оценка геологических ресурсов метана угольных пластов в мире представлена на рисунке.

Эти страны являются крупнейшими «загрязнителями» атмосферы, совместно отвечая за почти три четверти от всего мирового выброса шахтного газа. По прогнозам количество выбрасываемого шахтного газа увеличится на 2 % к 2020 г. в основном за счет роста угольной добычи в Китае [1, 2].

Всего в мире запасы метана оцениваются в 240 трлн. м³.

На шахтах отдельных стран утилизируется свыше 80 % каптированного метана (табл. 1) [1].

Теплота сгорания угольного метана и природного газа практически одинакова. Эти газы взаимно заменяемы в качестве как химического сырья, так и источников энергии. С учетом



Геологические ресурсы метана угольных пластов в мире

того, что уголь – естественный сорбент, как следствие, угольный метан имеет более высокое качество (например, отсутствует сера).

По оценкам многих российских специалистов одним из перспективных местных источников энергии является именно угольный метан, который считается высококачественным и экологически чистым энергоносителем. Многие ассоциируют угольный метан как опасный спутник добычи угля. Действительно, главной опасностью для горняков был и остается метан угольных пластов. Взрывы и выбросы метана являются наиболее опасными и крупномасштабными авариями на угольных предприятиях во всем мире. Однако при правильной утилизации он становится перспективным и ценным видом топлива. Необходимо отметить, что в отличие от России, угольный метан уже используется во всем мире, превращаясь из проблемы, связанной с безопасностью, в ценный источник энергии [2, 3].

Следует отметить также, что для добычи метана пригодны далеко не все месторождения. Так, длиннопламенные бурые угли бедны этим газом. В свою очередь, антрацит отличается высокой концентрацией газа, но его очень трудно извлечь из-за высокой плотности и чрезвычайно низкой проницаемости залежи. Угли, занимающие промежуточное положение между бурыми и антрацитом, относятся к самым перспективным для добычи метана. На территории России наиболее газоносными являются пласты угля Воркутинского месторождения и Кузнецкого бассейна.

В Кузбассе наибольшей плотностью ресурсов угольного метана (от 2,0 до 1,0 млрд. м³/км²) характеризуются следующие геолого-промышленные районы: Ерунаковский, Томь-Усинский, Бунгуро-Чумышский, Прокопьевско-Киселевский, Араличевский, Кондомский, Мрасский и Титовский.

Извлекаемый из угольных месторождений газ по содержанию чистого метана можно подразделить на 3 группы:

Т а б л и ц а 1

Уровень утилизации шахтного метана, извлекаемого системами дегазации

Показатель	Значения показателя по странам				
	Польша	Чехия	Германия	Великобритания	Россия
Количество дегазированного метана, млн. м ³ /год	241	210	650	500	480
Процент утилизации	85	95	70	50	8,5

- угольный метан с концентрированным содержанием чистого CH_4 до 100 %;
- шахтный метан (метановоздушные смеси) с концентрацией CH_4 до 60 – 70 %;
- вентиляционные выбросы, содержащие до 0,75 % CH_4 .

В зависимости от источников и способов промышленная добыча метана подразделяется на:

- промысловую из неразгруженных угольных пластов;
- попутную с применением технологических схем подземной дегазации и газоотсоса, осуществляемую на горном отводе действующей шахты в процессе ведения горных работ по добыче угля;
- извлечение (добычу) из подработанного массива на горных отводах закрытых угольных шахт [4].

Развитие промышленной добычи метана из угольных месторождений нашей страны определено «Энергетической стратегией России на период до 2020 года». Кроме того, в Федеральном законе от 29 декабря 2012 г. № 278-ФЗ «О внесении изменений в статьи 336 и 337 части второй Налогового кодекса Российской Федерации и статьи 6 Федерального закона «О внесении изменений в Бюджетный кодекс Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» уточнен перечень полезных ископаемых, не признаваемых объектом обложения НДС. В их число добавили метан угольных пластов [5]. Такая мера стимулирует интерес угледобывающих компаний в освоении неперспективных метанообильных, взрывоопасных угольных месторождений. Попутная добыча метана в ближайшие годы перерастет в отдельную отрасль.

Согласно данным статистических исследований, проведенных специалистами, выявлено, что котельные установки выбрасывают в атмосферу значительно большее количество CO на единицу теплоты, чем ТЭЦ. Ущерб, причиняемый вредными выбросами в атмосферу мелкими котельными установками в силу их размещения в зоне проживания людей и ограниченных возможностей использования технических средств для обезвреживания выбросов, в 5 раз выше, чем от ТЭЦ [2]. Предлагаемый подход составляет основу концепции создания теплоэнергетических комплексов на базе использования метана угольных шахт, который позволит решить следующие задачи: улучшение экологической безопасности, в том числе создание безопасных по газовому фактору условий для добычи угля, и снижение загрязнения окружающей среды за счет уменьшения

выбросов в атмосферу метана – одного из газов, участвующих в создании парникового эффекта, а также уменьшение вредных выбросов в атмосферу от шахтных котельных при их переводе на сжигание метана вместо угольного топлива. При этом существенно сокращаются выбросы в атмосферу оксидов азота NO_x [6], серы SO_2 , углерода CO и пыли, являющихся основными вредными веществами, образующимися при сжигании угля в шахтных котельных. Кроме того, при этом имеет место косвенный экологический эффект, заключающийся в уменьшении количества сжигаемого угля в котельных при замещении части электрической и тепловой энергии из энергосистемы собственной электроэнергией шахты, вырабатываемой при сжигании метана; получение дополнительного энергетического и технологического сырья [5].

Рассмотрим возможность утилизации шахтного метана на примере котельной шахты «Полысаевская». В настоящее время для выработки тепловой энергии используется котельная, работающая на угле. Она будет модернизирована установкой на котлах горелок для сжигания метана. Предполагается, что тепловая мощность переоборудованной котельной будет соответствовать мощности старой. При применении такой технологии затраты на электроэнергию и отопление возможно снизить в несколько раз и, как следствие, снизить себестоимость 1 т добычи угля. При той же цене прибыль увеличится в разы [2]. Это позволит шахте повысить безопасность труда шахтеров, эффективность отработки угольных месторождений, комплексно использовать полезное ископаемое и улучшить экологическую обстановку. Сокращение выбросов метана снизит выплаты предприятия за загрязнение атмосферы. Технические характеристики котлоагрегатов, установленных на котельной шахты «Полысаевская», представлены в табл. 2.

Отопление котельной осуществляется углем марки Г Ленинского каменноугольного месторождения. Состав горючей массы угля представлен ниже:

Вещество	C	H	O	N	S
Содержание, %	70,4	7,72	20,0	1,1	0,78

Зольность и влажность топлива составляют 23,4 и 7,6 % соответственно. Для очистки газов от взвешенных частиц при работе котлов на угле установлены батарейные циклоны марки БЦ – 7. Расчет эффективности показал, что ее значение составляет 72,5 %. При начальной запыленности газов 0,68 г/м³ конечная концентрация пыли составит 0,182 г/м³. Для нетоксичной пыли рекомендуемое значение не долж-

Характеристики котлов

Заводское обозначение котла	Вид топлива	Паропроизводительность, т/ч	Давление пара, МПа (кгс/см ²)	Температура пара, °С	КПД котла, %
Котлы типа Е-Р (КЕ-С) со слоевыми топочными устройствами					
КЕ-10-14С (лето)	Каменный или бурый уголь	10	1,4 (14)	194	82,5
КЕ-25-14С	Каменный или бурый уголь	25	1,4 (14)	194	87,9

Примечание. Характеристики котлов представлены согласно техническому отчету за 4 квартал 2014 г. и Проекту нормативов предельно допустимых выбросов ОАО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ «Спецналадка» г. Ленинск-Кузнецкого.

но превышать 0,1 г/м³. Для достижения установленного уровня необходима дополнительная ступень очистки или принятие другой схемы пылеулавливания. Расчет образования вредных выбросов при работе котельной на твердом топливе и шахтном метане произведен по известной методике [7] при условии равной тепловой мощности установки от разных сортов топлива. В табл. 3 приведены результаты расчета.

Расчет максимальной концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выполнен в соответствии с методикой [7] при высоте существующей дымовой трубы 30 м. Результаты приведены в табл. 4.

Анализ результатов произведенных расчетов позволяет сделать следующие выводы: использование шахтного метана в качестве топлива позволяет существенно сократить массу выброса вредных веществ в атмосферу воздуха. В том числе выброс диоксида азота сокра-

щается на 40,291 т/год, оксида азота – на 6,542 т/год, оксида углерода – на 306,81 т/год и бенз(а)пирена – на 0,000273 т/год. При сжигании метана отсутствуют такие вредные выбросы, как зола и сажа, а также оксиды серы.

Выбросы вредных веществ сокращаются на 88,66 %. Значительное сокращение выбросов оксида углерода наблюдается благодаря использованию меньшего количества топлива и полному сгоранию газообразного топлива.

Выводы. Объединение в единый комплекс процессов добычи и переработки топлива в электрическую и тепловую энергию открывает возможность существенного повышения экономической эффективности всего комплекса, позволяет улучшить экологическую обстановку, повысить безопасность труда шахтеров, а также позволяет комплексно использовать полезное ископаемое не только на собственные нужды, но и на отопление ближайшего жилого района города Полысаево.

Т а б л и ц а 3

Количество образующихся вредных веществ при сжигании твердого и газообразного топлива

Компонент	Выброс вредных веществ при сжигании угля, т/год	Выброс вредных веществ при сжигании метана, т/год	Сокращение, т/год
Диоксид азота	68,218	27,927	-40,291
Оксид азота	11,08	4,538	-6,542
Ангидрид сернистый (SO ₂)	245,138	-	-245,138
Оксид углерода	384,113	77,303	-306,81
Твердые частицы	259,378833	-	-259,378833
Бенз(а)пирен	0,000413	0,00014	-0,000273
Всего:	967,933	109,768	-858,16486
Сокращение выбросов, %			88,66

Расчетные значения максимальных концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе

Вещество	Расчетные значения концентрации выбросов, мг/м ³	
	Сжигание угля	Сжигание метана
Оксид азота	0,00125748	0,0001386
Диоксид азота	0,003888	0,000846
Оксид углерода	0,01386	0,00441
Бенз(а)пирен	0,0234·10 ⁻⁶	0,002628·10 ⁻⁶
Оксид серы	0,021924	-
Твердые частицы	0,014796	-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рубан А.Д., Забурдяев В.С. Опыт извлечения и использования шахтного метана в России и ФРГ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 9. С. 153 – 158.
2. Калинин А.В., Новиков В.И. и др. Результаты и перспективы реализации инновационного проекта по добыче метана из угольных пластов в Кузбассе. – В кн.: Основные направления стратегии развития ОАО «Газпром» промышленной добычи метана из угольных пластов / Под ред. А.М. Карасевич, Н.М. Сторонского, В.Т. Хрюкина, Е.В. Швачко // Газовая промышленность. 2012. № 672. С. 6 – 10.
3. Коротков С.Г., Стерлигов В.В. Подготовка шахтного метана для использования в качестве металлургического топлива. Научное наследие И.П. Бардина: Труды научно-технической конференции. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 72 – 75.
4. Золотых С.С., Карасевич А.М. Проблемы промышленной добычи метана в Кузнецком угольном бассейне. – М.: ИСПИН, 2002. – 540 с.
5. Постановление совета федерации федерального собрания Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/documents/9699> (Дата обращения: 16.10.2015 г.).
6. Коротков С.Г., Волынкина Е.П. Образование термических оксидов азота при сжигании газообразного топлива. Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: Сб. докладов Второй Международ. науч-практич. конф. / Под ред. Е.П. Волынкиной. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 159 – 162.
7. Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) для предприятия. – М.: Госкомприрода, 1989.

© 2015 г. С.Г. Коротков, Н.Е. Козлова
Поступила 19 октября 2015 г.

УДК 662.8

В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко, А.А. Рыбушкин, С.А. Казимиров, К.С. Коноз

Сибирский государственный индустриальный университет

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ УГОЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ С ПОЛУЧЕНИЕМ МИКРОСФЕР И СТРОИТЕЛЬНОГО ПЕСКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ПРОЦЕССОВ*

Золошлаковые отходы (ЗШО) угольных котельных образуют техногенные накопления, которые являются серьезной экологической проблемой. Учитывая, что механический недожог в топках с плотным слоем [1, 2] может достигать до 20 – 40 %, золошлаковые отходы становятся в определенной степени привлекательным углеродсодержащим сырьем – топливным ресурсом. Прямое сжигание золошлаковых отходов в традиционных топках (котлах) практически исключается по причине недостаточной концентрации углеродистого материала, в то же время высокое содержание остаточного углерода в ЗШО ограничивает их применение в строительной промышленности.

В Сибирском государственном индустриальном университете создана теплогенерирующая установка, основу которой составляет вихревая топка, предназначенная для переработки пылевидных и мелкодисперсных углеродсодержащих отходов [3 – 6]. Благодаря конструктивным особенностям в топке происходит более полное сжигание топлива, в том числе некондиционного. При этом содержание углерода в зольном остатке незначительно. В комплекс вихревой топки встроена вихревая мельница [7], которая служит для тонкого помола мелкодисперсных материалов. Тонкость помола в мельнице достигает до 50 мкм, что способствует более полному сжиганию топлива.

Для очистки запыленных газов, улавливания и классификации сухой мелкодисперсной пыли за топкой устанавливается вихревой пылеуловитель, способный уловить частицы диаметром до 5 мкм.

Созданное оборудование и разработанная технология могут стать базовым инструментарием для исследования и реализации комплексной технологии переработки золошлаковых отходов угольных котельных с производством микросфер и песка, способом расплавления зо-

лы и вспучиванием алюмосиликатных частиц в микросферы, получением зольного остатка – песка с содержанием углерода менее 3 %.

Концептуально технология комплексной переработки золошлаковых накоплений, образующихся от работы угольных котельных, сводится к многостадийному процессу, включающему в себя подготовку сырья и его сжигание в вихревых топках с помощью мазутных вихревых форсунок, обеспечивающих оплавление ЗШО и условия образования микросфер.

Подготовку сырья можно осуществлять на типовых механизированных комплексах, где проводятся классификация, помол и, как правило, сушка сырья. Помол сырья производится в вихревых мельницах, действующих на принципе помола частиц, жестко взаимодействующих между собой в вихревом потоке.

Обезвоживание ЗШО осуществляется в специальной вихревой сушильной топке. Агрегат оборудуется двумя вихревыми форсунками. Топливо распыляется энергией сжатого воздуха. Воздух проходит через специальное устройство, в котором закручивается до скорости, достигающей сверхзвукового значения, и при истечении создает закрученный вихрь, в центр которого впрыскивается топливо. Поскольку в центральной области создается пониженное давление, это способствует облегченному поступлению топлива в зону распыления. При таких условиях топливо распыляется в мельчайшие капли, которые полностью сгорают в потоке воздуха. Для работы форсунок используется компрессор невысокого давления, что значительно снижает затраты на сжатый воздух.

В отдельную зону сушильного агрегата при помощи дутьевого вентилятора подается закручиваемым потоком влажный сырьевой продукт. Сушильная камера топки рассчитана из условия достаточного пребывания продукта, обеспечивающего полное испарение влаги. Высушенные частицы поступают в многоступенчатую систему улавливания – классификатор, который позволяет осадить до 95 % обезвоженного материала. Технически система ра-

*Работа выполнена согласно заданию № 2555 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России.

ботает на принципе резкого поворота потока и сепарации частиц в закрученном потоке с использованием центробежной силы.

Получение микросфер реализуется в вихревой топке, тепло в которой образуется при сжигании мазута. Последний распыляется при помощи вихревых форсунок сжатым воздухом. В топке закрученный поток подаваемых материалов выносятся от периферии топки к центру, в зону максимальных температур. За счет оптимального перераспределения теплового сектора топки по принципу «горячий центр – холодная периферия» осуществляется полное выжигание углеродистой составляющей. Происходит оплавление и вспучивание стеклокристаллической массы в микросферы, имеющих шарообразную форму и образующихся при остывании капель расплава во взвешенном состоянии в дымовых газах.

Микросферы представляют собой материал, обладающий высокими служебными свойствами, что обеспечивает их стабильно высокий спрос на рынке строительных материалов. Микросферы характеризуются низкой плотностью, высокой механической прочностью, химической инертностью, обладают высокой термостойкостью и низкой теплопроводностью [8].

Микросферы применяют в качестве теплоизоляционных материалов, при производстве керамик, наполнителей композиционных материалов и специальных видов цемента. Они могут служить сырьем для получения катализаторов, адсорбентов и материалов для эксплуатации в условиях воздействия агрессивных сред и высокой температуры [9].

Принципиальная схема комплексной установки для получения микросфер представлена на рисунке.

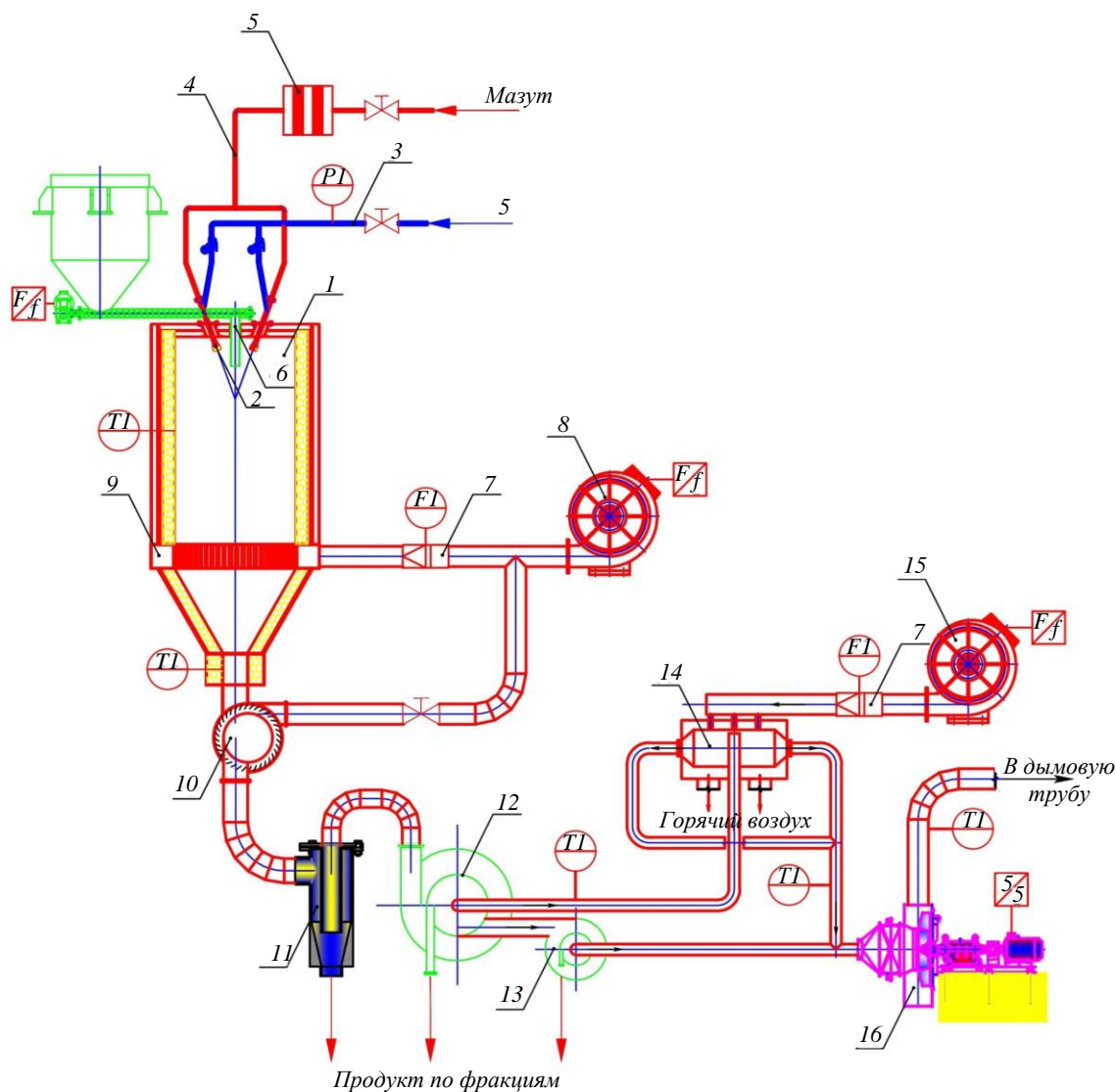


Схема установки для получения микросфер

Исходный материал (золошлаковые отходы) плавится в топке 1 от сжигания мазута. Мазут распыляется при помощи вихревых форсунок 2 сжатым воздухом, подаваемым по магистрали 3. Топливная магистраль 4 содержит топливный фильтр 5 и краны для регулирования. Исходный продукт подается шнеком или при помощи пневмотранспортной магистрали в воронку 6. Расход дутьевого воздуха контролируется расходомером 7. Горячий воздух подается напорным вентилятором 8 на закручивающее устройство 9. Эжектор 10 разбавляет горячий дымовой газ воздухом. Основная масса полученных сфер осаждается в устройстве 11. Более мелкие сферы поступают сначала на первую ступень пылеуловителя 12, а затем – на вторую 13. Оставшееся тепло утилизируется в теплообменнике 14, работа которого осуществляется от напорного вентилятора 15 и дымососа 16. Температура контролируется датчиками. Выделение и классификация микросфер из общей массы конечного продукта осуществляется методом флотации и/или вихревой сегрегации.

Благодаря термической обработке ЗШО в зоне высоких температур образующийся зольный остаток освобождается от углерода (его содержание составляет менее 3 %) и преобразуется в песок. Песок на обычных классификаторах сортируется по фракционному составу и может быть использован в зависимости от исходного угольного продукта в качестве заполнителя бетонов и строительных растворов. При достаточно высоком содержании в песке кальцийсодержащих материалов его можно использовать как добавку при изготовлении цемента. Зольный песок можно использовать как минеральную добавку к глине при производстве кирпича, керамической плитки, черепицы [10].

Согласно экономической оценке, реализация проекта комплексной переработки золошлаковых отходов с получением микросфер и песка имеет хорошие показатели. По результатам укрупненного расчета технико-экономические параметры комплекса по переработке 1 т отходов в час имеют следующие значения:

Параметр	Единица измерения	Значение параметра
<i>Сушка ЗШО</i>		
Исходный продукт – влажная зола котельных	т/год	10 074
Мощность сушильной топки	МВт	0,3
Вид топлива	угольные шламы	
Расход топлива – шлама	т/год	525,6
Расход электроэнергии	кВт/час в год	131 400
<i>Сжигание ЗШО и получение микросфер</i>		
Мощность топки	МВт	0,5
Исходный продукт – сухая зола котельных	т/год	8760,0
Содержание углерода в ЗШО	%	30,0
Зола без органической части	т/год	6132,0
	%	10,0
Содержание микросферы в золе топки	т/год	613,2
Вид топлива	мазут/отработанные масла	
Расход топлива – мазута	т/год	438,0
	кВт/час	30
Расход электроэнергии	кВ/час в год	262 800
<i>Генерация тепла/горячая вода</i>		
КПД утилизации тепла	%	25
Сгенерированное тепло (горячая вода)	Гкал/год	2058,6
<i>Стоимость ресурсов, материалов и продукции</i>		
Исходный продукт (ЗШО). Доставка	руб/т	100
Мазут	руб/т	7000
Угольные шламы. Доставка	руб/т	500

Песок	руб/т	1200
Микросфера классифицированная	руб/т	50 000
<i>Эксплуатационные затраты</i>		
Обслуживающий персонал	чел.	17
Заработная плата с начислениями	руб/мес./чел.	39 060
<i>Затраты на комплекс переработки ЗШО</i>		
НИОКР	руб	1 500 000
Оборудование для подготовки ЗШО	руб	2 000 000
Оборудование сушильного комплекса	руб	2 000 000
Оборудование комплекса получения микросферы	руб	3 000 000
ПИР, инженерные системы, СМР	руб	4 000 000
Итого затрат	руб	12 500 000
<i>Получение продукции</i>		
Песок	руб/год	8 409 600
Тепло	руб/год	2 058 600
Микросфера	руб/год	35 040 000
Итого продукции	руб/год	37 098 600
<i>Расчет себестоимости</i>		
Исходный продукт (ЗШО)	руб/год	1 007 400
Топливо (мазут)	руб/год	3 066 000
Топливо (угольные шламы)	руб/год	262 800
Электроэнергия	руб/год	985 500
Затраты на капитальный ремонт	руб/год	55 756
Затраты на текущий ремонт	руб/год	50 000
Амортизационные отчисления	7 %	513 333
Ремонтный фонд	2 %	233 333
Заработная плата с начислениями	руб/год	7 968 240
Итого себестоимость	руб/год	14 142 362
Доход	руб/год	22 956 238
Налог НДС	18 %	4 132 123
Общая прибыль	руб/год	18 824 115
Налог на прибыль	20 %	3 764 823
Чистая прибыль	руб	15 059 292
Окупаемость затрат	лет	0,83

Выводы. Рассмотрена возможность утилизации золошлаковых отходов угольных котельных с получением микросфер и строительного песка. Приведены оборудование и принципы его работы, обеспечивающие образование микросфер. Представлены технологическая схема и экономические показатели получения микросфер при использовании вихревых технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башкова М.Н., Казимиров С.А., Темлянцева М.В., Багрянцев В.И., Рыбушкин А.А., Слаженева К.С. Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках // Вестник СибГИУ. 2014. № 2 (8). С. 24 – 32.
2. Казимиров С.А., Башкова М.Н., Слаженева К.С. Анализ возможностей оборудования вихревыми топками действующих котельных агрегатов малой и средней мощности // Вестник СибГИУ. 2015. № 1 (11). С. 44 – 49.
3. Багрянцев В.И., Казимиров С.А., Куценко А.И., Подольс-

- кий А.П., Рыбушкин А.А., Темлянецев М.В. Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов // Вестник СибГИУ. 2013. № 3 (5). С. 33 – 37.
4. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Темлянецев М.В., Рыбушкин А.А., Казимиров С.А. Сжигание угольных шламов с применением вихревых технологий // Вестник КузГТУ. 2015. № 1 (107). С. 153 – 158.
 5. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Рыбушкин А.А., Темлянецев М.В., Казимиров С.А. Разработка эффективной технологии сжигания отходов углеобогащения для получения тепловой энергии // Научные разработки и использования минеральных ресурсов. 2014. № 1. С. 311 – 314.
 6. Казимиров С.А., Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Темлянецев М.В. Разработка теплоэнергетической установки для сжигания угольных шламов // Научные разработки и использования минеральных ресурсов. 2015. № 2. С. 342 – 345.
 7. Пат. № 152561 РФ. МПК В02С 19/06. Вихревая мельница / В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко, М.В. Темлянецев, И.Н. Филинберг. Опубл. 12.01.2015.
 8. Теряева Т.Н., Костенко О.В., Исмагилов З.Р., Шикина Н.В., Рудина Н.А., Антипова В.А. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер // Вестник КузГТУ. 2013. № 5 (99). С. 86 – 90.
 9. Данилин Л.Д., Дрожжин В.С., Куваев М.Д., Куликов С.А., Максимова Н.В., Малинов В.И., Пикунин И.В., Редюшев С.А., Ховрин А.Н. Полые микросферы из зол-уноса – многофункциональный наполнитель композиционных материалов // Цемент и его применение. 2012. № 4. С. 100 – 105.
 10. Целыковский Ю.К., Ерихемзон Л.Ю. Организация при угольных ТЭС производства безобжигового зольного песка – эффективное направление расширения использования золошлаковых отходов ТЭС России // Энергетик. 2013. № 8. С. 26 – 28.
- © 2015 г. В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко, А.А. Рыбушкин, С.А. Казимиров, К.С. Коноз
Поступила 14 декабря 2015 г.

К 70 -ЛЕТИЮ АЛЕКСАНДРА МАРКОВИЧА ГЛЕЗЕРА



26 января 2016 г. исполняется 70 лет Александру Марковичу Глезеру, доктору физико-математических наук, профессору – крупному ученому и лидеру научной школы в области изучения и разработки многофункциональных материалов нового поколения. Им опубликовано индивидуально и в соавторстве свыше 500 научных работ: 8 монографий («Дифракционная электронная микроскопия в металлведении», «Упорядочение и деформация сплавов железа», «Механическое поведение аморфных сплавов», «Структура и механические свойства аморфных сплавов», «Структура и механические свойства легированных сплавов на основе FeCo», «Нанокристаллы, созданные путем экстремальных воздействий», «Наноматериалы: структура, свойства, применение» и «Нанокристаллы, закаленные из расплава»); 28 научных обзоров (в том числе в журналах «Успехи физических наук», «Физика твердого тела» и «Физика металлов и металлведение»); 230 научных статей в высокорейтинговых рецензируемых физических и материаловедческих российских и международных журналах, включая базы данных «Web of Science» и «SCOPUS»; 12 патентов РФ на изобретения и авторских свидетельств; 6 учебно-методических пособий. Монография «Нанокристаллы, закаленные из расплава», выпущенная в свет в России в 2012 г. издательством «ФИЗМАТЛИТ», переиздана в 2013 г. в Великобритании и в Соединенных Штатах Америки издательствами «CISP» и «Taylor & Francis Group». По данным организации «Корпус экспертов» на публикации А.М. Глезера

имеется более 1000 ссылок в Российских и зарубежных научных журналах. Индекс Хирша А.М. Глезера – 16 (по базе данных РИНЦ – 22).

Основным направлением научной деятельности А.М. Глезера является разработка структурно-физических основ создания новых перспективных многофункциональных и конструкционных сплавов с уникальным сочетанием физико-механических свойств. Под его руководством выполнен ряд фундаментальных и прикладных исследований нанокристаллических и аморфных функциональных материалов. Он является ведущим ученым России в области материалов, полученных методами закалки из расплава и интенсивной пластической деформации. А.М. Глезер известен как ведущий ученый в области применения электронно-микроскопических методов для исследования структуры конденсированного состояния. Ему принадлежат оригинальные методические разработки в области электронно-микроскопических исследований структуры функциональных материалов. Им сформулирована оригинальная концепция характеристических дефектов, ответственных за функциональные свойства металлических систем. Кроме того, им предложена оригинальная физическая модель вязко-хрупкого перехода в аморфных сплавах, предложены и реализованы на практике способы подавления нежелательной хрупкости промышленных сплавов.

А.М. Глезером предложена оригинальная классификация нанокристаллических состояний, возникающих при закалке из жидкого состояния. В его работах обнаружены и детально описаны особенности структуры, а также особенности протекания диффузионных и мартенситных фазовых превращений в нанокристаллах различного типа. Им впервые обнаружены необычные эффекты структурно-фазовых превращений, связанные с высокой степенью пересыщения материалов избыточными вакансиями, формирующимися при закалке из расплава. Им также впервые обнаружен и детально проанализирован размерный эффект при мартенситном превращении в нанокристаллах. А.М. Глезером успешно развиты дисклинационные и зернограничные подходы к описанию пластического течения в нанокристаллах и предложен новый механизм пластической деформации в нанокристалличе-

ских материалах, получивший впоследствии всеобщее признание. Изучены фазовые и структурные превращения при тепловых и деформационных воздействиях на аморфное состояние, которые ведут к эффектам нанокристаллизации. Проанализированы магнитные и механические свойства в сплавах с двухфазной аморфно-нанокристаллической структурой.

А.М. Глезеру принадлежит новый оригинальный подход, позволивший понять природу структурно-фазовых превращений, происходящих при интенсивной пластической деформации. Сформулирован принцип цикличности, включающий в себя активное протекание не только процессов накопления упругой энергии, но и процессов интенсивной аннигиляции внутренних напряжений путем динамической рекристаллизации, тепловыделения или аморфизации. На базе предложенного механизма сформулированы физически обоснованные условия образования нанокристаллических структур и уникальных физико-механических свойств. В случае аморфного состояния обнаружены эффекты нанокристаллизации в процессе интенсивной деформации при различных температурах, включая криогенные, и определена их природа. Обнаружены уникальные магнитные характеристики сплавов на основе железа после определенных режимов закалки из расплава и последующей интенсивной деформации. Результаты исследований имеют не только чисто научное, но и большое прикладное значение.

А.М. Глезером установлены способы и конкретные режимы кардинального повышения магнитных, прочностных и пластических свойств модельных и промышленных функциональных материалов на основе железа, никеля и кобальта; в основе этих способов лежат методы получения нанокристаллических структур с помощью закалки из расплава в сочетании с интенсивной пластической деформацией. В итоге удалось добиться рекордных значений прочности сплавов Co – В и Fe – Cr – В (σ_b свыше 5000 МПа), а также повысить прочность и пластичность промышленных магнитно-мягких сплавов на основе Fe – Si, Fe – Al, Fe – Si – Al (сендаст), Ni – Fe (пермаллой), Fe – Co (пермендюр), Fe – Si – В – Nb – Cu (файнмет), а также жаростойких сплавов Fe – Cr – Al (фехраль) и ряда других материалов. С помощью предложенных А.М. Глезером оригинальных принципов комплексных экстремальных воздействий и инженерии границ зерен получены новые структурные состояния и уникальные физико-механические свойства металлических матери-

алов, близкие к предельным (теоретическим) значениям.

Среди проведенных под руководством А.М. Глезера разработок новых функциональных материалов следует отметить создание многофункциональных высокопрочных мартенситно-старееющих сталей на основе систем Fe – Ni – V (Ti, Co, Mo), обладающих высокими упругими и магнитными свойствами ($\sigma_b = 2000 \div 2500$ МПа, $\sigma_T = 1750 \div 2200$ МПа, KCV = 35 ÷ 50 Дж/см², $H_s = 2,0 \div 15,0$ кА/м, $I_s = 1,0 \div 1,8$ Тл, температурный коэффициент модуля упругости – от нуля до $20 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹, теплостойкость до 500 °С); высокопрочных аустенитных сталей, прошедших криогенно-деформационную обработку (HRC = 55); магнитно-мягких высокопрочных сплавов, полученных методом комбинированных экстремальных воздействий (HV = 11000 МПа, $I_s = 1,4$ Тл, $H_c = 7$ А/м), высокопрочных наноструктурных низкоуглеродистых строительных сталей типа 35ГС, полученных методом поперечно-винтовой прокатки в сочетании с продольной прокаткой ($\sigma_b = 930$ МПа, $\delta = 9$ %, $\psi = 49$ %) (совместно с БелГУ); сплавов на основе никелида титана с эффектом памяти формы, полученных методом инженерии границ зерен (HV = 8500 МПа); демпфирующих сплавов на основе Fe – Mn – Si и Fe – Al ($\sigma_b = 1000$ МПа, $E = 180$ ГПа, демпфирующая способность 35 %). Разработанные составы и методы получения новых многофункциональных материалов защищены авторскими свидетельствами и патентами Российской Федерации.

А.М. Глезер более 20 лет руководит Институтом металловедения и физики металлов им. академика Г.В. Курдюмова – одним из авторитетнейших институтов России в области материаловедения. Он является безусловным лидером научной школы в области исследования физики аморфного и нанокристаллического состояний, воспитавшим талантливых учеников – 14 кандидатов наук, плодотворно работающих в настоящее время в различных регионах России и за ее пределами.

На протяжении своей научной деятельности А.М. Глезер успешно возглавлял крупные научные проекты, выполнявшиеся по программам ФЦП Миннауки РФ, комплексных проектов по программам Минпромторговли РФ, Международного Научного Фонда, Немецкого Научного Общества, Французской Академии наук и Российского Фонда фундаментальных исследований. А.М. Глезер – лауреат Премии РАН имени П.П. Аносова (2011 г.) за выдающиеся научные работы в области

металлургии, металловедения и термической обработки металлов и сплавов.

А.М. Глезер – главный редактор журнала «Деформация и разрушение материалов», который входит в список ВАК и переводится на английский язык издательством «Шпрингер», заместитель главного редактора журнала «Материаловедение», член редколлегии журналов «Известия РАН. Серия физическая», «Journal of Material Science & Technology», «Наноструктурное материаловедение», «Фундаментальные проблемы современного материаловедения» и «Проблемы черной металлургии и материаловедения».

А.М. Глезер входит в состав Научных Советов РАН по физике конденсированных сред, наноматериалам, металловедению и металлургии. Он также является одним из руководителей Межгосударственного Координационного Совета по физике прочности и пластичности материалов. А.М. Глезер – председатель Диссертационного Совета Д 217.035.01 по специальностям «01.04.07 – физика конденсированного состояния» и «05.16.01 – металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» при ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина». Он многократно возглавлял оргкомитеты регулярно проводимых в России Международных и Всероссийских конференций «Фазовые превращения и прочность кристаллов», «Актуальные проблемы прочности», «Московские чтения по проблемам прочности», «Применение

нанотехнологий и наноматериалов в черной металлургии».

В качестве заведующего кафедрой «Наноматериалы» Московского государственного университета приборостроения и информатики А.М. Глезер ведет активную преподавательскую деятельность. Кафедра осуществляет подготовку бакалавров и магистров по специальности «Нанотехнологии и микросистемная техника». На протяжении последних 20 лет им прочитаны курсы лекций по 15 дисциплинам, включая «Основы нанотехнологий и наноматериалов», «Физика поверхности», «Дефекты структуры», «Физические свойства металлов и сплавов», «Теория строения материалов», «Общее материаловедение», «Конструкционные наноматериалы» и др. А.М. Глезер является одним из разработчиков учебно-методического комплекса дисциплины «Конструкционные наноматериалы» с грифом двух Учебно-методических объединений по направлениям 150100 – материаловедение и технологии материалов и 150700 – физическое материаловедение.

Редакционная коллегия журнала «Вестник СибГИУ», друзья, ученики и коллеги сердечно поздравляют Александра Марковича Глезера с юбилеем и желают ему здоровья и новых научных успехов на благо нашей Родины.

© 2015 г. В.Е. Громов
Поступила 29 сентября 2015 г.

НИКОЛАЮ ФИЛИППОВИЧУ ЯКУШЕВИЧУ – 80 ЛЕТ



31 мая 2015 г. исполнилось 80 лет со дня рождения и более 50 лет инженерной, научной и педагогической деятельности известного ученого в области электрометаллургии и химической электротермии, доктора технических наук, профессора Николая Филипповича Якушевича.

В 1957 году после службы в армии Николай Филиппович поступил в Сибирский металлургический институт, окончил его в 1962 г. по специальности «Металлургия черных металлов» и был оставлен на работу в качестве инженера-исследователя и продолжения учебы в аспирантуре. Этот момент оказался переломным в судьбе Николая Филипповича, определившим его дальнейшую жизнь и профессиональную деятельность. Под руководством зав. кафедрой электрометаллургии стали и ферросплавов профессора Н.В. Толстогузова он выполняет исследования по разработке технологии плавки марганцевых сплавов из бедных руд, выплавки стали в электропечах из руд Чокодам-Булакского месторождения, электровозгонки фосфора из руд Белкинского месторождения, силикотермической технологии плавки силикокальция, внедрению в производство кремнистых ферросплавов ангарских полукоков. В 1969 г. он защищает кандидатскую диссертацию на тему «Исследование активности кремния в высококремнистых марганцевых сплавах». В дальнейшем Н.Ф. Якушевич продолжает активную научную работу, занимается

совершенствованием технологии производства ферросилиция, ферромарганца, силикомарганца, силикохрома, силикокальция, сплавов алюминия, вольфрама, титана, корундовых и карбидокремниевых материалов, карбида кальция, фосфора.

Значительная часть работ выполнялась по заданию министерств, отраслевых НИИ и предприятий: Челябинский научно-исследовательский институт металлургии – Минчермет, ВАМИ – Минцветмет, ВНИИАШ – Минстанкопром, Западно-Сибирское геологическое управление, Юргинский абразивный завод, Ташкентский абразивно-алмазный комбинат, Западно-Сибирский металлургический комбинат. По результатам исследований в 1996 г. Н.Ф. Якушевич защитил докторскую диссертацию на тему «Развитие теории и совершенствование технологии высокотемпературных углеродотермических рудовосстановительных процессов». В 1999 г. выходит в свет основной научный труд Н.Ф. Якушевича – монография «Взаимодействие углерода с оксидами кальция, кремния, алюминия», хорошо известный специалистам отечественной и зарубежной металлургии и электротермии неорганических материалов.

Весом вклад Н.Ф. Якушевича в становление и развитие нового для института и университета научно-образовательного направления – технология электротермических производств, в рамках которого под его руководством в течение 45 лет осуществлялась подготовка инженеров-химиков-технологов в области химической электротермии неорганических материалов, впоследствии достигнувших высоких профессиональных результатов на предприятиях Химпрома, Минстанкопрома и Металлургиипрома.

По результатам работы Н.Ф. Якушевичу присвоено ученое звание профессора (1998 г.), он удостоен нагрудного знака Минобрнауки «Почетный работник ВПО РФ» (2005 г.), награжден медалью Администрации Кемеровской области «За заслуги перед Кузбассом» (2015 г.).

Научную и преподавательскую деятельность Н.Ф. Якушевич успешно сочетает с активной работой в диссертационном совете по металлургии и металловедению, в редакционных коллегиях журнала «Известия вузов. Черная металлургия», отраслевых и вузовских сборниках научных трудов, пропагандой науч-

но-технических достижений, оказывает консалтинговую и инжиниринговую помощь предприятиям региона, организует и проводит повышение квалификации их ИТР.

Своей энергией, широкими профессиональными знаниями, высокой работоспособностью и требовательностью к себе и окружающим

Н.Ф. Якушевич снискал большой авторитет и уважение.

Коллеги и ученики сердечно поздравляют профессора кафедры «Металлургия цветных металлов и химической технологии» Якушевича Николая Филипповича с 80-летием. Здоровья, долгих лет жизни, творческих успехов!

К 70-ЛЕТИЮ ВЛАДИМИРА ИЛЬИЧА БАЗАЙКИНА



10 февраля 2016 г. исполняется 70 лет со дня рождения Владимира Ильича Базайкина, д.т.н., профессора кафедры высшей математики.

Кандидатскую диссертацию «Исследование предельной деформируемости при свободной гидровзрывной штамповке» по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением под руководством д.т.н., проф. Перетягко В.Н. защитил в 1975 г.; докторскую диссертацию «Полуобратный метод анализа технологических операций обработки металлов давлением с использованием несимметричного тензора напряжений» по той же специальности при научном консультировании д.ф.-м.н., проф. В.Е. Громова защитил в 2000 г. На кафедре высшей математики Сибирского государственного индустриального университета работает с 1975 года, последовательно занимая должности от ассистента до профессора кафедры, в 2002 – 2007 гг. был избранным заведующим кафедрой.

Читает лекции, ведет семинары и практические занятия по дисциплинам: «Математика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теория функций комплексной переменной», «Вычислительные методы математики», «Дополнительные главы математики»,

«Специальные главы математики», «Устойчивость механических систем», «Дискретная математика». В РИО СибГИУ изданы его 15 учебно-методических разработок, три электронных учебных пособия зарегистрированы ФГУП НТЦ «Информрегистр». В соавторстве разработал около 20 рабочих программ по направлениям подготовки бакалавров и магистров в соответствии с действующим ФОС.

Тематика научных работ В.И. Базайкина – разработка математических моделей деформирования металлов в процессах обработки металлов давлением. В основном используется полуобратный метод, при котором частично задаются траектории течения пластического или вязкопластического материала, поле скоростей в очаге деформации доопределяется из условия локальной несжимаемости, поле тензора напряжений определяется из уравнений равновесия и соотношения, определяющего тип материала, усилия и моменты находятся по распределению вектора напряжений на контакте инструмент – материал.

Основные результаты опубликованы в журналах с высоким импакт-фактором.

Владимир Ильич является автором 144 научных публикаций, в соавторстве написано 6 монографий. Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (2004 г.).

В 1989 – 1993 гг. принимал активное участие в политической жизни Кемеровской области, был депутатом Кемеровского областного Совета народных депутатов, членом его Президиума, координатором демократического блока депутатов Совета.

В настоящее время – член двух диссертационных советов, член Ученого совета ИФО СибГИУ.

Награды: государственная – юбилейная медаль «За воинскую доблесть. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», правительственная – премия Правительства РФ в области науки и техники, областная – медаль «За служение Кузбассу».

Редакционная коллегия сердечно поздравляет Владимира Ильича с юбилеем и желает здоровья, новых творческих успехов и активного долголетия.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.745

Расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании / Павловец В.М., Герасимук А.В. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 3.

Развиты принципы принудительного зародышеобразования в процессе получения железорудных окатышей. В их основу положен расчет режима переката зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании; проведен анализ сил, действующих на кубический зародыш при его движении на гарнисаже, что позволило определить параметры работы и расширить технологические возможности тарельчатого окомкователя. Ил. 2. Табл. 1. Библ. 2.

Ключевые слова: принципы принудительного зародышеобразования, напыление влажной шихты на шихтовый гарнисаж, тарельчатый окомкователь, режим переката, напыленный слой шихты, зародыши, железорудные окатыши.

Development of principles of forced nucleation in the process of reception of iron ore pellets / Pavlovets V.M., Gerasimuk A.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 3.

The article is devoted to the principles of forced nucleation in the process of production of iron ore pellets. It's based on calculating and analytical method of designing technology for pellets, taking into account parameters of forced formation in the system of wet deposition charge on the skull pelletizer and design characteristics of the deposited layers of charge, embryos and pellets. Retrieved design data, allowing you to choose the coordinate of the deposition of the charge on the skull pelletizer and the number of jet devices required for thermal power deposition wet charge on the skull pelletizer. Fig. 3. Tabl. 1. Ref. 2.

Keywords: principles of forced nucleation, spraying wet batch for charge skull, poppet pelletizer, bound regime, sprayed charge layer, nucleus, iron-ore pellets.

УДК 669.112.227:539.4.015

Закономерности структурных и фазовых превращений в стали с бейнитной структурой при пластической деформации / Иванов Ю.Ф., Аксенова К.В., Никитина Е.Н., Громов В.Е., Корнет Е.В. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 6.

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии выполнен количественный анализ эволюции структуры, фазового состава и дефектной субструктуры конструкционной стали 30Х2Н2МФА при деформации сжатием до 36 %. Обсуждены возможные причины стадийности преобразования стали с бейнитной структурой на уровне дефектной и карбидной подсистем. Ил. 1. Библ. 13.

Ключевые слова: бейнитная структура, деформация, эволюция, цементит, дефектная подсистема.

Regularities of structure and phase transformations in steel with bainite structure under plastic deformation / Ivanov Yu.F., Aksenova K.V., Nikitina E.N., Gromov V.E., Kornet E.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 6.

The quantitative analysis of structure, phase composition and defect sub-structure evolution of 30Cr2Ni2MoV steel under compression deformation up to 36 % is carried out by methods of transmission electron diffraction microscopy. On the structure level of defect and carbide subsystems the possible reasons of stage transformation of steel with bainite structure is discussed. Fig. 1. Ref. 13.

Keywords: bainite structure, deformation, evolution, cementite, defect subsystem.

УДК 669.716:621.785

Фазовый состав и микромеханические свойства покрытий системы Al – Ti – Cu, формируемых при жидкофазном взаимодействии на медных подложках / Шморгун В.Г., Слаутин О.В., Евстропов Д.А., Новиков Р.Е. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 9.

Исследован фазовый состав и микромеханические свойства покрытий системы Al – Ti – Cu, формируемых при жидкофазном взаимодействии на медных подложках. Показано, что двойной отжиг трехслойного слоистого композита СКМ состава медь М1 + титан VT1-0 + алюминий АД1 по режиму 700 °С в течение 2 ч и 910 °С в течение 1 ч позволяет получать на поверхности меди покрытие, основными структурными составляющими которого являются твердые растворы на основе купридов титана Ti₃Cu₄(Al) и TiCu₂(Al), эвтектика TiCu₂ + TiCu₄ и TiCu₄, а поверхностный слой состоит из смеси фаз TiAl₃ + CuTi₂Al₅ и двухфазной прослойки CuTi₂Al₅ + Al₄Cu₉. Табл. 3. Ил. 3. Библ. 5.

Ключевые слова: слоистый композит, интерметаллид, сварка взрывом, термическая обработка.

Phase composition and micromechanical properties of coatings system Al – Ti – Cu, formed in liquid phase interactions on a copper substrate / Shmorgyn V.G., Slautin O.V., Evstropov D.A., Novikov R.E. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 9.

The article deals with the investigation of the phase composition and the micromechanical properties of the coatings system Al-Ti-Cu, formed in liquid phase interactions on a copper substrate. It is shown that double annealing of three-layer composite with composition copper M1 + titanium VT1-0 + aluminum AD1 on regime of 700°C, 2 h + 910°C, 1 h produces coating on the surface of the copper, with main structural components are solid solutions based on Ti₃Cu₄(Al) and TiCu₂(Al), eutectic TiCu₂ + TiCu₄ and TiCu₄; the surface layer consists of a mixture of phases TiAl₃ + CuTi₂Al₅ and two-phase layer CuTi₂Al₅ + Al₄Cu₉. Tabl. 3. Fig. 3. Ref. 5.

Keywords: layered composite, intermetallic, explosion welding, heat treatment.

УДК 62-419.5:620.172.224:519.876.5

Компьютерное моделирование контактного упрочнения алюминиевой прослойки магниево-алюминиевых цилиндрических сосудов / Гуревич Л.М., Трыков Ю.П., Пономарева И.А., Арисова В.Н. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 12.

Проведено моделирование контактного упрочнения методом конечных элементов с помощью пакета SIMULIA/Abaqus. Определена прочность магниево-алюминиевого композита MA2-1-АД1-АМг6 при варьировании толщины прослойки АД1 и ее относительная толщина, соответствующая переносу разрушения на магниевый сплав. Табл. 2. Ил. 3. Библ. 12.

Ключевые слова: магний, алюминий, алюминиевый сплав, мягкая прослойка, деформация, разрушение, моделирование, метод конечных элементов.

Computer modeling of the contact hardening of aluminum interlayer of magnesium-aluminum cylindrical containers / Gurevich L.M., Trykov Yu.P., Ponomareva I.A., Arisova V.N. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – С. 12.

The paper is devoted to the simulation of the finite element method using a package SIMULIA / Abaqus behavior of magnesium-titanium-aluminum composite MA2-1-AD1-AMg6 under axial tension. The strength of magnesium-aluminum-aluminum composite MA2-1-AD1-AMg6 has been determined by varying the thickness of the interlayer AD1 and its relative thickness corresponding to the transfer of destruction on the magnesium alloy. Table 2. Fig. 3. Ref.12.

Keywords: magnesium, aluminum, aluminum alloy, soft layer, deformation, destruction, simulation, finite element method.

УДК 622.822.2:519.876.5

Численное моделирование напряженно-деформированного состояния шахтных перемычек из бетонных блоков при воздействии ударной воздушной волны / Домрачев А.Н., Риб С.В. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 17.

Рассматривается решение задачи выбора и обоснования параметров шахтных перемычек с использованием численного моделирования напряженно-деформированного состояния под действием ударной воздушной волны. Для оценки напряженно-деформированного состояния перемычки под действием ударной воздушной волны использован свободно распространяемый программный комплекс Ansys Z88, достаточно хорошо зарекомендовавший себя при выполнении расчетов с использованием метода конечных элементов в

строительстве и машиностроении. Результаты расчетов в целом соответствуют общепринятым представлениям и представляют интерес в части оценки эффективности использования перемычек из бетонных блоков. Ил. 4. Библ. 11.

Ключевые слова: шахтная перемычка, бетонные блоки, метод конечных элементов, компоненты напряженного состояния, базисные функции, напряжения, смещения.

Numerical simulation of stress-strain state of the mine stopping interface of concrete blocks under the influence of a shock air wave / Domrachev A.N., Rib S.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 17.

The article presents the problem of choice and justification of the parameters of a concrete blocks mine stopping with the use of numerical simulation of the stress-deformation state of the stopping under the effect of air shock waves. To evaluate the stress-deformation state of the stopping under the effect of air shock waves the authors used a free software complex Aurora Z88 well-reputed for calculations using the finite element method in construction and engineering industries.

The calculation results are broadly consistent with the generally accepted ideas, and are of interest in terms of using concrete block seals.

Keywords: mine stopping, concrete blocks, finite element method, stress state components, basis functions, stress, displacements

УДК 622.831:539.3

Методика численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий / Риб С.В., Басов В.В. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 22.

Предложена методика численного исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) неоднородных угольных целиков с применением метода конечных элементов. Методика основана на анализе горно-геологической и горнотехнической информации, результатах шахтных инструментальных измерениях и численном моделировании НДС массива горных пород. Реализация метода конечных элементов осуществляется с помощью комплекса программ CoalPillar, который предназначен для двумерного численного моделирования МКЭ процессов изменения смещений, напряжений и деформаций под влиянием природных полей напряжений и горных выработок в углепородном массиве. Методика состоит из семи этапов, выполнение которых позволит осуществлять достоверный прогноз НДС неоднородных целиков методом численного моделирования и на каждом этапе эксплуатации целика предоставлять сведения об опасных участках для разработки рекомендаций по выбору способов охраны горных выработок. Ил. 3. Библ. 9.

Ключевые слова: неоднородный угольный целик, методика, метод конечных элементов, горная выработка, напряженно-деформированное состояние, комплекс программ.

Methods of numerical investigation of the stress-strain state of inhomogeneous coal pillars with modern computer technology / Rib S.V., Basov V.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 22.

The paper proposes a method of numerical investigation of the stress-strain state of inhomogeneous coal pillars using the finite element method. The technique is based on the analysis of geological and mine technical data, results of mine instrumental measurements and numerical simulation of stress-strain state of the rock mass. The implementation of the finite element method is realized by means of a complex of programs CoalPillar. Complex programs CoalPillar is appropriated for two-dimensional numerical simulation of the processes of change FEM displacements, stresses and strains under the influence of natural stress fields and mines in the rock mass. The technique consists of seven stages. Performing all phases of techniques allow carrying out a reliable prediction of the stress-strain state of inhomogeneous pillars by numerical simulation and at each stage of operation pillar to provide information about dangerous areas to develop recommendations for the selection of methods of protection of mine workings. Fig. 3. Ref. 9.

Keywords: inhomogeneous coal pillars, methods, finite element method, mine working, stress-strain state, complex programs.

УДК 622.83:622.112

Оценка влияния трещин на устойчивость пород в кровле подготовительных выработок угольных шахт / Жуков Е.М., Лугинин И.А., Кропотов Ю.И., Зырянов К.А., Басов В.В. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 26.

Предложен вариант оценки устойчивости подготовительных выработок с учетом влияния природных и техногенных трещин, параметры которых определяются по результатам эндоскопической съемки стенок скважин в кровле выработки. Разработана классификация трещин. В качестве классификационных признаков приняты следующие характеристики и параметры трещин: форма, размеры, степень открытости, вид поверхности ослабления, ориентировка трещин в пространстве, генезис, минеральный состав наполнителя. Рис. 1. Табл. 2. Библ. 17.

Ключевые слова: видеоэндоскопическая съемка, слоистость, трещиноватость, горная выработка, анкерная крепь, устойчивость, скважина.

Impact assessment of cracks on the stability of rocks at the top of the development of coal mine workings / Zhukov E.M., Luginin I.A., Kropotov Y.I., Zyryanov K.A., Basov V.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 26.

The paper presents a variant of an estimation of stability of development workings taking into account the impact of natural and man-made cracks, whose parameters are determined by the results of endoscopic shooting holes in the walls of the top of the development. The classification of fractures is worked out. As a feature classification, the following features of the cracks are accepted: the shape, size, degree of openness, the weakening of the surface, orientation of cracks in space, as well as the genesis of the mineral composition of the filler. Fig. 1. Table 2. Ref. 17.

Keywords: video endoscope surveying, lamination, crack, mining, roof bolting, stability, borehole.

УДК 622.281.74:519.876.5

Оценка соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования / Риб С.В., Домрачев А.Н., Волошин В.А. // Вестник СибГИУ, – 2015. – № 4 (14). – С. 30.

Обоснована актуальность вопроса оценки соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования для выявления опасных зон в приконтурном массиве горной выработки. Предложен двухуровневый подход. Первый – на стадии проектирования параметров анкерной крепи горной выработки выполняется математическое моделирование методом конечных элементов. Второй – на стадии проведения горной выработки и ее эксплуатации производится детальное обследование структуры и состава пород кровли, боков и почвы для корректирующего расчета параметров анкерной крепи. Выполнено численное моделирование методом конечных элементов для условий подготовительной выработки, пройденной по угольному пласту мощностью 3,5 м. По результатам численного моделирования скорректированы параметры анкерной крепи. Ил. 3. Библ. 11.

Ключевые слова: анкерная крепь, метод конечных элементов, горная выработка, опасные зоны, комплекс программ, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование.

Conformity assessment of the parameters of roof bolting mine working received on normative documents and the results of numerical modeling / Rib S.V., Domrachev A.N., Voloshin V.A. // The Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 30.

The article is devoted to the justification of the urgency of the issue of conformity assessment of the parameters of roof bolting mine working received on normative documents and the results of numerical modeling to identify danger zones in marginal rock massif mine working. The authors propose a two-tiered approach. The first one: at the design stage settings bolting mine working a mathematical modeling is performed using finite element method. The second one: at the stage of mine working, and its operation a detailed examination of the structure and composition of the rocks of the roof, sides and grounds for calculating the correction parameters of roof bolting is carried out. Numerical simulation of finite element method is done for the production of preparation conditions, passed on coal seam capacity of 3.5 m. According to the results of the numerical modeling the parameters of roof bolting are adjusted. Fig. 3. Ref. 11.

Keywords: roof bolting, finite element method, mine working, danger zones, complex programs, stress-strain state, numerical simulation.

УДК 621.644.8

Тепловизионная съемка для поиска скрытых дефектов в тепловой защите зданий / Оленников А.А., Осокин Е.В., Кирилов П.П., Гуща Е.Л., Николенко В.В. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 36.

На сегодняшний день использование тепловизионной съемки для определения энергосберегающих характеристик и тепловых потерь конструкций особенно актуально. При помощи такой съемки проводится качественная проверка теплозащиты здания, которая наглядно показывает наличие или отсутствие скрытых конструктивных, технологических, строительных или эксплуатационных дефектов. Описана методика проведения тепловизионной съемки. Приведены примеры обследований реальных объектов с фотографиями и термограммами. Ил. 5. Библ. 10.

Ключевые слова: тепловизионная съемка, энергетический паспорт, теплозащита зданий, фильтрация воздуха, микроклимат помещения, тепловизионный контроль.

Thermal shooting for the search of hidden defects in the thermal protection of buildings / Olennikov A.A., Osokin E.V., Kirilov P.P., Guscha E.L., Nikolenko V.V. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 36.

Nowadays, the use of thermal imaging survey to determine the energy-saving features and designs of heat loss is especially important. With such a survey the quality checks of thermal protection of the building is carried out. It clearly shows the presence or absence of hidden design, technology, construction or operational defects. The technique of thermal imaging survey is described in the paper, as well as given the examples of surveys of real objects with photos and thermograms. Fig. 5. Ref. 10.

Keywords: thermal imaging survey, the energy passport, thermal insulation of buildings, air filtration, indoor climate, thermal control.

УДК 621.644.8

Одна из причин недогрева жилых помещений в отопительный период года / Осокин Е.В., Оленников А.А., Кирилов П.П., Николенко В.В., Гуща Е.Л. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 41.

Одной из причин недогрева жилых помещений в отопительный период года являются внутренние отложения на внутренних стенках труб систем отопления. В работе подробно описаны влияния таких отложений на гидравлический и тепловой режим системы теплоснабжения жилого здания. Описаны способы обнаружения внутренних отложений, включая тепловизионную съемку. На основе полученных проб, взятых из трубопроводов систем отопления г. Осинники, выполнен химический анализ внутренних отложений. Предложены новый метод по очистке труб и разработанная установка для промывки систем отопления. Подробно описан принцип работы этой установки, а также пошаговые действия по промывке системы. Ил. 5. Библ. 10.

Ключевые слова: внутренние отложения, система отопления, тепловизионная съемка, способ промывки, внешняя коррозия, воздушно-кислотная очистка.

One of the reasons of subcooling of living accommodations during the heating period of the year / Osokin E.V., Olennikov A.A., Kirilov P.P., Nikolenko V.V., Guscha E.L. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 41.

One of the reasons of subcooling of living accommodations during the heating period of the year is domestic deposits on the inner walls of the pipe heating systems. The paper describes in detail the impact of these deposits on the hydraulic and thermal conditions of the heating system of a residential building. The methods of detection of domestic deposits, including thermal imaging survey are described in the paper. On the basis of the samples taken from pipeline heating systems of Osinniki, the chemical analysis of domestic deposits is performed. A new method for cleaning pipes and the designed installation for washing heating systems is offered. The article in detail describes the principle of operation of the installation, as well as step-action flushing system. Fig. 5. Ref. 10.

Keywords: domestic deposits, heating, thermal photography, way to wash external corrosion, air-pickling.

УДК 712.4.728.2

Жилой дом с интерьерно-ландшафтными зонами и элементами городского земледелия / Осипов Ю.К. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 46.

Анализ факторов, влияющих на формирование жилого дома, позволил на стадии архитектурного решения создать проект жилого дома повышенной этажности с устройством активных интерьерно-ландшафтных зон. Новизна работы заключается в создании двух нежилых рекреаций, пространство которых в совокупности с балконами и лоджиями на жилых этажах организовано с большим количеством декоративных и огородных растений, что позволило организовать вертикальное озеленение дома, которое в завершённом виде стало композиционным стержнем пространственной структуры дома и определило появление интерьерно-ландшафтных зон. Ил. 3. Библ. 4.

Ключевые слова: интерьерно-ландшафтная зона, элементы городского земледелия.

Dwelling house with interior-landscape zones, and the elements of urban agriculture / Osipov Yu. K. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – С. 46.

The analysis of the factors influencing the formation of dwelling house allows on the stage of the architectural solution to make the draft of residential building of the increased number of storeys with active device of interior-landscape zones.

Novelty of this work is to create two non-residential space destinations which together with balconies and loggias on the first floor is organized with a large number of ornamental and vegetable plants. That makes it possible to organize vertical greening homes, which in a completed form has become a compositional spatial home structure and determined the emergence of interior-landscape zones. Fig. 3. Ref. 4.

Keywords: interior-landscape zones, elements of urban farming.

УДК 691.233:[658.567.1:622+669]

Использование техногенного сырья промышленных предприятий для получения декоративных материалов / Благиных Е.А., Карпачева А.А., Чередниченко Ж. М. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 49.

Показаны перспективные направления и этапы научно-исследовательской работы по оптимизации составов отделочных и декоративных материалов на основе вторичных минеральных ресурсов промышленных предприятий Кемеровской области. Ил. 3. Библ. 5.

Ключевые слова: отделочные материалы, декоративные материалы, вторичные минеральные ресурсы, промышленные предприятия.

Use of technogenic raw materials of industrial enterprises for receiving decorative materials / Blaginykh E.A., Karpacheva A.A., Cherednichenko Zh.M. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 49.

The paper outlines the promising areas and stages of research work to optimize the composition of finishing and decorative materials on the basis of secondary mineral resources of industrial enterprises in Kemerovo region. Fig. 3. Ref. 5.

Keywords: decoration materials, decorative materials, secondary mineral resources, industry.

УДК [681.51:62-83-52]:622.678.5

Программируемый задатчик хода шахтной подъемной машины / Иванов А.С., Мещерин А.Т., Мещерина Ю.А., Пугачев Е.В., Пугачева Э.Е. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 52.

Описываются возможности новой разработки Научной школы СибГИУ «Информационно-материальные технологии в электромеханических системах горно-металлургического комплекса» и научно-производственной фирмы «ИНТЕХСИБ» – программируемого задатчика хода шахтной подъемной машины ПЗХ-2, предназначенного для использования вместо устаревших устройств защиты, контроля параметров и отображения информации, применяемых на подъемных установках. Функциями аппарата ПЗХ-2 являются определение положения подъемных сосудов, измерение мгновенного значения скорости и направления

движения, защита подъемной установки от превышения скорости, переподъема скипов выше приемной площадки, застревания скипов, что обеспечивает надежную и бесперебойную работу подъемных установок горных предприятий. Ил.3. Библ. 2.

Ключевые слова: подъемные установки, контроль скорости скипов, защитная диаграмма, датчик скорости, датчик точной остановки, автокоррекция.

Programmable master control unit for coalmine hoisting engine movement / Ivanov A.S., Meshcherin A.T., Meshcherina Y.A., Pugachev E.V., Pugacheva E.E. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 52.

The capabilities of a new project of SibSIU Science school «Information and material technologies of electromechanical systems of mining and smelting complex» and research-and-production company «INTECHSIB» - programmable master control unit for coalmine hoisting engine movement PZKH-2 are described. The control unit is intended to be used instead of obsolete systems of protection, parameters control and information representation, which are used on underground plants. The functions of the PZKH-2 device are determination of lifting vessels position, measurement of the instantaneous velocity and movement direction, preventing hoisting engine from exceeding optimal velocity, skips from being lifted over the receiving area and skips from getting stuck, which ensures reliable and trouble-proof performance of hoisting engines at mining facilities. Fig. 3. Ref. 2.

Keywords: hoisting engines, skip velocity control, safety diagram, speed sensor, precise stop sensor, self-correction.

УДК 662.74

Оценка экологического риска от выбросов в атмосферу, поступающих из цеха производства проволоки и метизов / Павлович Л.Б., Каневская А.М. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 57.

Проведена оценка экологического риска от загрязнений атмосферного воздуха цеха производства проволоки и метизов. Показано, что неканцерогенный экологический риск хронической интоксикации от всех организованных источников выбросов, не превышающий приемлемый уровень, составил 98,75 %, высокий риск – 6,25 %. Табл. 1. Библ. 13.

Ключевые слова: производство проволоки и метизов, газовоздушные выбросы, организованные источники выбросов, неканцерогенный экологический риск.

Environmental risk assessment from emissions to atmosphere by wire production plant and hardware / Pavlovich L.B., Kanevskaya A.M. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 57.

The article deals with the evaluation of the environmental risk from air pollution by industrial activity of workshop production of wire and wire products. It is shown that the non-carcinogenic environmental risk of chronic intoxication from all organized sources of emissions not exceeding the acceptable level is 98.75 %, the higher risk is 6.25 %. Tabl. 1. Ref. 13.

Keywords: production of wire and wire products, gas emissions, organized sources of emissions, environmental non-carcinogenic risk.

УДК 669.18

Экологические аспекты добычи и утилизации шахтного метана / Коротков С.Г., Козлова Н.Е. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 59.

Рассмотрены проблемы утилизации шахтного метана, экологические аспекты его добычи, свойства твердого и газообразного топлива (метана), сравнение вредных выбросов при сжигании твердого и газообразного топлива, а также расчетные значения максимальных концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе. Ил. 1. Табл. 4. Библ. 7.

Ключевые слова: экология, экологические проблемы, котельная, метан, вредные выбросы, загрязняющие вещества, угольные месторождения, парниковый эффект.

Ecological aspects of mine methane extraction and utilization / Korotkov S.G., Kozlova N.E. // Bulletin of the SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – С. 59.

The article is devoted to the problems of mine methane utilization, ecological aspects of its extraction, the properties of solid and gaseous fuel (methane), the comparison of irritants when burning solid and gaseous fuel, as well as the calculated values of maximum concentration of harmful substances in the air. Fig. 1. Table 4. Ref. 7.

Keywords: ecology, ecological problems, boiler-house, methane, irritants, contaminant, coal deposits, greenhouse effect.

УДК 622.8

Комплексная переработка золошлаковых отходов угольных котельных с получением микросфер и строительного песка на основе использования вихревых процессов / Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Рыбушкин А.А., Казимиров С.А., Коноз К.С. // Вестник СибГИУ. – 2015. – № 4 (14). – С. 64.

Рассмотрена возможность утилизации золошлаковых отходов угольных котельных с получением микросфер и строительного песка. Приведены оборудование и принципы его работы, обеспечивающие образование микросфер. Представлены технологическая схема и экономические показатели получения микросфер при использовании вихревых технологий. Ил. 1. Библ. 10.

Ключевые слова: вихревое сжигание, золошлаковые отходы, микросфера, строительный песок, топка, переработка отходов, мазут.

Complex processing of ash waste coal-fired boilers to produce microspheres and building sand through the use of vortex processes / Bagryantsev V.I., Brovchenko S.A., Rybushkin A.A., Kazimirov S.A., Konoz K.S. // Bulletin of SibSIU. – 2015. – № 4 (14). – P. 64.

The paper considers the possibility of utilization of ash waste coal-fired boilers to produce microspheres and building sand. In the article the authors describe the equipment and its work to ensure the formation of the microspheres. Technological schemes and economic parameters of production of microspheres using a vortex technology are presented. Fig. 1. Ref. 10.

Keywords: vortex combustion, slag waste, microspheres, building sand, furnaces, waste management, mazut.

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:

1. Металлургия и материаловедение.
2. Горное дело и геотехнологии.
3. Машиностроение и транспорт.
4. Энергетика и электротехнологии.
5. Химия и химические технологии.
6. Архитектура и строительство.
7. Автоматизация и информационные технологии.
8. Экология и рациональное природопользование.
9. Экономика и управление.
10. Образование и педагогика.
11. Гуманитарные науки.
12. Социальные науки.
13. 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 рекомендуется направлять по электронной почте ответственному секретарю журнала на e-mail: konovserg@gmail.com с пометкой «статья в Вестник СибГИУ».

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 75x75 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 рас-

пространенных программ MS Excel, MS Visio и др., следует представлять в формате исходного приложения (*.xls, *.vsd и др.). На обратной стороне рисунка 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 того, 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 несложного 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»)).

Над номером работали

Протопопов Е.В., *главный редактор*

Темлянцев М.В., *заместитель главного редактора*

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*