

6. А.с. 1763499 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 22 В 3/14/С 22 В 19/00. Способ гидрометаллургического получения цинка / Ю.К. Бородай, Л.И. Коноваленко, Л.Д. Мягкий, Ю.Н. Резников, Л.Е. Синельникова, В.В. Алешин. – № 4872583/02; заявл. 11.10.90; опубл. 23.09.92, Бюл. № 35.
7. Летимин В.Н. Пыль и шламы газоочисток металлургических заводов и анализ путей их утилизации / В.Н. Летимин, И.В. Макарова, М.С. Васильева, Т.М. Насыров // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – №1 (16). – С. 82-85.
8. Пат. 2340403 Российская Федерация, МПК В 03 В 9/06, С 22 В 19/30. Способ переработки цинксодержащих пылей и шламов металлургического и горного производства / Валеев В.Х., Калмукашев С.Р., Колесников В.Ф., Колесников С.В., Сомова Ю.В.; заявитель и патентообладатель Валеев Валерий Хакимзянович и др. – №2006103776/03; заявл. 08.02.2006; опубл. 10.12.2008.
9. Пат. 2277597 Российская Федерация, МПК С 22 В 7/00, С 22 В 19/30. Способ обесцинкования шламов доменного производства / Кошкалда А.Н., Сукинова Н.В., Сафронова Л.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». – № 2004125255/02; заявл. 17.08.2004; опубл. 10.06.2006.
10. Черняев А.А. Моделирование двухстадийной переработки цинксодержащих отходов металлургического производства: дис. кандидата техн. наук: 05.16.02 / Черняев Александр Александрович. – Магнитогорск, 2014. – 139 с.
11. Горлова О.Е. Изучение возможности снижения содержания цинка в металлургических шламах / О.Е. Горлова // Магн. ГТУ им. Г.И. Носова. – Источник: [http://www.minproc.ru/thes/2003/section\\_5/thes\\_2003\\_s/](http://www.minproc.ru/thes/2003/section_5/thes_2003_s/).
12. А.с. 1701375 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 02 С 21/00. Измельчительно-сепарационная установка / В.Ф. Бызов, Г.В. Губин, В.С. Харламов, Г.А. Жовтуха, В.И. Мулявко, В.А. Небайкин. – № 4785236/33; заявл. 22.01.90; опубл. 30.12.91, Бюл. № 48.
13. Бызов В.Ф. Подземный комплекс по добыче и обогащению магнетитовых кварцитов / В.Ф. Бызов, Г.В. Губин, А.М. Задорожний, В.С. Харламов, В.И. Мулявко // Разработка рудных месторождений. – 1994. – №55. – С. 122-127.

Рукопись поступила в редакцию 14.02.17

УДК 62-408:622.012.2-023.7

Д.В. БРОВКО, В.В. ХВОРОСТ\*, кандидаты техн. наук, доценты  
Криворожский национальный университет

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ УРОВНЕЙ НАДЕЖНОСТИ

**Цель.** Создание одного из методов оценки технического состояния элементов конструкций зданий и сооружений поверхности шахт - квалитметрической оценки, позволяющий свести к минимуму корректировки уровней надежности, а также установить высокий уровень безопасности объектов поверхности шахт.

**Методика.** Разработана аналитическая модель определения величины физического износа эксплуатируемого здания на момент времени, при котором произведена диагностика технического состояния объекта поверхности шахт и найдена величина его фактической степени живучести. Для определения стандартных уровней надежности объект представляется в виде системы, состоящей из иерархически последовательно соединенных групп однотипных несущих элементов. При моделировании учтены основные параметры: фактическое состояние и степень живучести элементов конструкций на момент проведения их обследования.

**Результаты.** Получена модель, позволяющая определить состояние эксплуатируемого здания, в виде зависимости износа несущих конструкций здания от величины его степени живучести. Определены пороговые значения степени живучести, при достижении которых объект поверхности шахт переходит в качественно иное состояние – из нормального в удовлетворительное, из удовлетворительного в непригодное, а из непригодного в аварийное. Предложенная методика оценки безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений поверхности может быть использована на практике для оценки степени живучести, вида технического состояния и безопасного остаточного ресурса.

**Научная новизна.** Научная новизна предложенного в работе метода – адекватное описание технического состояния элементов конструкций зданий и сооружений поверхности шахт, который займет свою нишу среди новых современных экспериментальных исследований материалов и конструкций объектов поверхности.

**Практическая значимость.** Создание метода квалитметрической оценки, который позволяет определять степень живучести объекта на определенный момент времени, вид технического состояния и безопасный остаточный ресурс. В результате проведения предложенных мероприятий повышается уровень безопасности эксплуатируемого объекта, что влечет за собой сохранение как материальных активов, так и жизни работников предприятия.

**Ключевые слова:** объекты поверхности шахт, надежность, живучесть, квалитметрическая оценка

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Промышленные объекты поверхности горного предприятия - это сложная конструкция, представляющая собой организованную совокупность групп однотипных конструкций (основание, фундамент, стены, перекрытие и т.д.). Стандартные значения степени живучести - средние значения, при достижении которых элементы конструкций объектов поверхности шахт переходят в иное техническое

состояние. Они используются для формирования требований безопасности зданий и сооружений при оценке их технического состояния.

Современные научные и производственные представления, на которых базируется большинство методик определения фактического состояния конструктивных элементов объектов поверхности шахт, опираются на стандартных представлениях. К стандартным значениям степени живучести относятся:

нормальная степень живучести (normal); удовлетворительная степень живучести (satisfactory); непригодная к эксплуатации степень живучести (unusable); аварийная степень живучести (crash).

**Анализ исследований и публикаций.** Развитию методов теории надежности в строительстве способствовали труды ученых В.В. Болотина, А.Р. Ржаницына, Б.М. А.Г. Ройтмана, В.Д. Райзера и др. Практика показывает, что при оценке состояния, работы и обследованию зданий и сооружений необходимо учитывать:

условность статических расчетных схем и возможные отклонения вычисленных по ним усилий от действительного распределения их в конструкциях сооружений;

условность применяемых расчетных характеристик материалов;

возможные отклонения нагрузок от расчетных значений;

случайный характер фактического влияния внешней среды.

Оценить влияние всего комплекса перечисленных факторов теоретическим путем часто бывает невозможно. В связи с этим особую значимость приобретают новые современные экспериментальные исследования материалов и конструкций зданий и сооружений.

**Постановка задачи.** При оценке технического состояния объектов поверхности необходимо учитывать, что свойства строительных материалов, оснований, нагрузок и воздействий, условия эксплуатации. Метод предельных состояний, заложенный в основу расчета конструкций и учитывающий статистический характер показателей, вводимых в расчет, предполагает учет воздействия различных эксплуатационных факторов за счет использования соответствующих коэффициентов надежности. Метод предельных состояний является полукачественным методом расчета на надежность, при котором для нормирования прочности материалов, действующих нагрузок, а также коэффициентов надежности используются вероятностные методы, а прочностной расчет ведется в детерминированной форме. Поэтому метод предельных состояний не дает полного ответа на основной вопрос – какова величина степени живучести эксплуатируемого объекта.

С целью безаварийной работы объектов поверхности, которые будут отвечать всем требованиям безопасности, возможно применение квалиметрической оценки расчета степени живучести.

Применение методов квалиметрической оценки позволит создать не только высокий уровень качества результатов выполняемых работ, но и свести к минимуму корректировки уровней надежности, а также установить высокий уровень безопасности объектов поверхности шахт.

**Изложение материала и результаты.** Стандартные уровни надежности групп элементов в отличие от стандартных значений степени живучести не являются постоянными. Для определения стандартных уровней надежности объект представляется в виде системы, состоящей из иерархически последовательно соединенных групп однотипных несущих элементов. Предполагаем, что человеческие ошибки, допущенные в одной из групп, не зависят от ошибок, допущенных в других группах. Соответственно для оценки уровня надежности  $\nu$  объекта поверхности шахт применяем методы системной теории надежности [1, 2, 3].

Далее проведем исследования зависимости надежности элементов от их количества. Используем данные о физическом износе зданий и сооружений на поверхности горнорудных предприятий Криворожского бассейна, которые получены сотрудниками ДВНЗ «КНУ» в результате проведенных обследований более 1000 объектов.

Для детализированной наглядной формы разделения физического состояния исследуемых объектов данные о физическом износе разделены по четырем группам, что представлено на рис. 1.

Для практического применения теоретическая кривая, показанная на рис.2, разделена на четыре линейных участка, на стыке которых физический износ скачкообразно меняется. Известно [4], что всякое изменение скорости износа информирует об изменении технического состояния объекта поверхности шахт. Исследования степени живучести объектов различного

срока эксплуатации и последующий анализ результатов этих исследований позволили принять решение о расположении стыковых точек (пороговых значений степени живучести).



Рис. 1. Разделение физического состояния исследуемых объектов по четырем группам

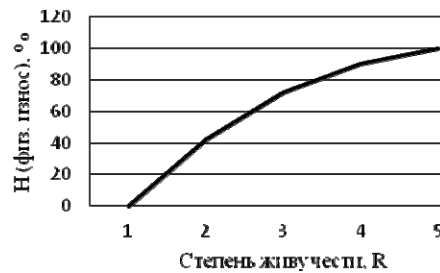


Рис. 2. Модель деградации несущего каркаса объекта поверхности шахт и пороговые значения степени живучести

В результате приходим к искомой диаграмме «износ-живучесть».

Время эксплуатации объекта поверхности шахт до достижения удовлетворительной степени живучести  $R_{sat}=12$  (satisfactory) определяет границу безопасного ресурса  $T_6$  объекта поверхности шахт. Техническое состояние объекта поверхности шахт на этом промежутке времени можно трактовать как безопасное. При достижении объектом непригодной степени живучести  $R_{uns}=36$  (unusable), износ составляет более 60%. При такой величине износа требуется капитальный ремонт здания [5]. В противном случае степень живучести продолжает расти и достигает следующего предельного (аварийного) значения, равного  $R_{crash}=84$  (crash), что определяет предельный ресурс исследуемого объекта поверхности шахт.

Степень живучести объекта поверхности шахт зависит от технического состояния групп элементов, образующих всю конструкцию здания. Количество таких групп и число конструкций в группах в зданиях и сооружениях велико, и определение фактических уровней надежности при обследовании конструкций связано с большими затратами времени и денежных средств. Объем экспертных работ резко сократится, если в основу оценки технического состояния несущего каркаса объекта поверхности шахт положить принципы квалиметрии. Для этого в каждой группе отыскиваются наиболее и наименее дефектные конструкции с последующей экспертной оценкой их соответствия требованиям проекта в части обеспечения их прочности, жесткости и устойчивости [6, 7].

Выбор формы модели физического износа объекта поверхности шахт обоснован исследованиями ресурса конструкций в теории надежности [1, 2, 8, 9]. Ниже приведена математическая модель, позволяющая определить величину физического износа  $\Phi$  эксплуатируемого здания на момент времени  $T$ , при котором произведена диагностика технического состояния объекта поверхности шахт и найдена величина его фактической степени живучести  $R$

$$\Phi = \Phi(T) = 1 - \exp(-k(R)) \quad (1)$$

На момент ввода в эксплуатацию объекта поверхности шахт, принимая  $R=1$ , получаем практически нулевое значение, что логично. Для определения коэффициента  $k$ , входящего в формулу (1), принимаем степень живучести  $R_{crash}=84$  и при этом физический износ объекта поверхности шахт равен 0,80. При этих данных из формулы (1) следует, что  $k=0,0193$ .

Все это позволяет определить величину конструкционного износа  $\Phi_{limit}$  (limit). Так при достижении объектом удовлетворительной степени живучести  $R_{sat}=12$  следует, что  $\Phi_{limit}=0,20$  (20%). При такой величине износа на объекте должны быть начаты ремонтные работы. Аналогично, при достижении объектом непригодной степени живучести  $R_{uns}=36$ , следует, что  $\Phi_{limit}=0,50$  (50%). При такой величине износа на объекте в срочном порядке должны быть начаты капитальные ремонтные работы.

В математической модели (1) фактором времени является зафиксированный момент времени  $T_{factual}$  - срок эксплуатации объекта поверхности шахт, при котором произведено обследование его технического состояния, рассчитана степень живучести и определен фактический износ

объекта поверхности шахт  $\Phi$  на момент времени  $T$ . Для прогноза безопасного остаточного ресурса объекта поверхности шахт зависимость физического износа от времени принимается в форме экспоненты

$$\Phi(T) = 1 - \exp(-i \cdot T_{\text{factual}}), \quad (2)$$

где  $i$  - интенсивность физического износа объекта поверхности шахт.

При  $T_{\text{factual}}$ , величина износа известна и равна  $\Phi = \Phi(T_{\phi})$ . Путем сопоставления полученных уравнений получаем

$$1 - \exp(-kR) = 1 - \exp(-iT_{\text{factual}});$$

$$i = \frac{0,0193R}{T_{\text{factual}}} \quad (3)$$

Безопасный остаточный ресурс  $T_{\text{safe}}$  определится по формуле  $T_{\text{safe}} = T_{\text{permissible}}$ , где  $T_{\text{permissible}}$  - время от начала строительства объекта поверхности шахт до достижения им предельно-допустимой степени живучести  $R_{\text{permissible}}$ . Время  $T_{\text{permissible}}$  при найденном значении интенсивности найдется из уравнения, если принять, что  $\Phi_{\text{limit}} = 0,50$  или  $\Phi_{\text{limit}} = 0,20$ . В результате формулы для определения безопасного остаточного ресурса (safe residual life - srl) и безопасного ресурса без капитального ремонта (safe without residual overhaul- swro) имеют следующий вид, соответственно

$$T_{\text{srl}} = \frac{0,2316}{i}; \quad T_{\text{swro}} = \frac{0,6562}{i}. \quad (4)$$

По формуле (4) можно спрогнозировать безопасный ресурс объекта поверхности шахт на момент времени окончания его строительства. Для этого величину  $T_{\text{factual}}$  следует принять равной нулю. При  $R_{\text{factual}} > R_{\text{permissible}}$  безопасный ресурс объекта поверхности шахт полностью исчерпан.

Предельный срок службы объекта поверхности шахт  $T_{\text{critical}}$  можно спрогнозировать из условия, что износ известен и равен  $\Phi_{\text{critical}} = 0,80$ . Здесь время  $T_{\text{critical}}$  также можно определить из равенства

$$T_{\text{critical}} = \frac{1,6212}{i}. \quad (5)$$

Формула (5) справедлива, если на объекте не были произведены ремонтно-восстановительные работы.

Показатели ресурса существенным образом зависят от величины фактической степени живучести на момент проведения исследования технического состояния объекта поверхности шахт. Превышение нормального значения степени живучести объекта поверхности шахт влечет за собой снижение безопасного ресурса объекта поверхности шахт. Этот факт проиллюстрирован на рис.3.



Рис. 3. Зависимость безопасного ресурса объекта от величины риска аварии на момент окончания его строительства

Если до окончания безопасного ресурса ремонтно-восстановительные работы на объекте произведены не будут сопротивляемость его элементов воздействиям (особенно аварийным) снижается и может привести к аварии.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Получена модель закона состояния эксплуатируемого здания в виде зависимости износа несущих конструкций здания от величины его степени живучести.

Определены пороговые значения степени живучести, при достижении которых объект поверхности шахт переходит в качественно иное состояние – из нормального в удовлетворительное, из удовлетворительного в непригодное, а из непригодного в аварийное.

Предложенная методика оценки безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений поверхности может быть использована на практике для оценки степени живучести, вида технического состояния и безопасного остаточного ресурса.

### Список литературы

1. **Андреев Б. М.** Визначення надійності та обґрунтування параметрів об'єктів на поверхні шахт з урахуванням переходу на полегшені огорожувальні конструкції / **Б. М. Андреев, Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – Днепропетровск, 2015. – № 12. – С. 378–382.
2. **Гарькин И. Н.** Анализ причин обрушений промышленных зданий / **И. Н. Гарькин** // *Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.).* Реноме. – 2011. – С. 27–29.
3. **Азгальдов Г. Г.** Квалиметрия для всех: Учеб. пособие / **Г. Г. Азгальдов, А. В. Костин, В. В. Садовов.** – М.: ИнформЗнание, 2012. – 165 с.
4. **Маругина В. М.** Квалиметрическая экспертиза строительных объектов / **В. М. Маругина, Г. Г. Азгальдов.** – СПб.: Политехника – 2008. – 527 с.
5. **Бровко Д. В.** Исследования надежности промышленных объектов поверхности горных предприятий / **Д. В. Бровко.** // *Вісник КНУ.* – 2014. – № 36. – С. 32–36.
6. **Мельчаков А. П.** Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов / **А. П. Мельчаков.** – Челябинск, Издательство ЮУрГУ, – 2006. – 51с.
7. **Бровко Д. В.** Дослідження конструкцій металевого арочного кріплення в умовах криворізького залізорудного басейну. / **Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ.* – 2015. – №123. – С. 99–106.
8. **Бровко Д. В.** Визначення надійності шахтних будівель та споруд в умовах обмеженої інформації / **Д. Д. Бровко, В. В. Хворост.** // *Щомісячний науковий журнал «Smart and Young».* – 2016. – №3. – С. 152-157.
9. **Бровко Д. В.** Оценка риска надежности конструкций эксплуатируемых объектов горнопромышленного предприятия / **Б. Н. Андреев, Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // *Сборник научных трудов: БНТУ.* – Минск, 2013. – т.1. – С. 180–190.
10. **Бровко Д. В.** Перспективы поддержания производственных мощностей шахт и карьеров Кривбасса / **Б. Н. Андреев, Д. В. Бровко, С. В. Письменный.** // *Сборник научных трудов: Известия Тульского государственного университета.* – Тула, 2013. – С. 115–120.
11. **Хворост В. В.** Дослідження міцності і надійності конструктивних елементів об'єктів розташованих на поверхні гірничопромислових підприємств / **В. В. Хворост.** // *Вісник КНУ.* – 2014. – №37. – С. 31–36.
12. **Хворост В. В.** К вопросу повышения эффективности динамического расчета несущих конструкций пролетных строений транспортерных галерей при случайных колебаниях / **В. В. Хворост.** // *Гірничий вісник КНУ.* – 2015. – Вип. 99. – С. 52-56.
13. **Andreev V. M.** Determination of reliability and justification of object parameters on the surface of mines taking into account change-over to the lighter enclosing structures / **V. M. Andreev, D. V. Brovko, V. V. Khvorost.** // *Concepts of professional career of future engineers-metallurgists, Metallurgical and Mining Industry, 2015.* -No12, p.p. 378-382.
14. **Андреев Б. М.** Забезпечення надійності поверхневого комплексу методом прогнозування технічного стану елементів будівель і споруд / **Б. М. Андреев, Д. В. Бровко, В. В. Хворост.** // *Вісник КНУ.* – 2016. – Вип. 41. – С. 87-92.
15. **Бровко Д. В.** Анализ риска возникновения дефектов сооружений на поверхности шахт как основа управления их безопасной эксплуатацией / **Д. В. Бровко, В. В. Хворост, И.А. Нестеренко.** // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток промисловості та суспільства» Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ».* – 2016. – С. 83.

Рукопись поступила в редакцию 06.02.17

УДК 66.041.491

Ю.О. ТОХТАРЬ, магістрант, Л.І. ЄФІМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,  
І.О. ДОЦЕНКО, ст. викладач,  
Криворізький національний університет

## СТРУКТУРА ПРОГРАМИ ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ І КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

**Мета.** Метою даної розробки є автоматизація процедури вибору засобів автоматизації програмного та технічного забезпечення за рахунок розробки програми, що дозволить виключити людський фактор при обробці характеристичних і параметричних даних та значно пришвидшити вибір необхідного обладнання чи програмного забезпечення.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання використовуються методи предиктивного аналізу та кластеризації, методи теорії систем автоматичного управління у виробництві з використанням новітніх методів