

Виконані дослідження є основою для подальшого обґрунтування заходів з підвищення стійкості виробки, насамперед за допомогою використання новітніх засобів кріплення.

Список літератури

1. Шашенко А.Н. Геомеханические процессы в породных массивах / А.Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е.А. Сдвижкова [Монография]. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2005. – 319 с.
 2. Гапеев С.Н. Закономерности потери упругопластической устойчивости сложноструктурного массива в окрестности одиночной выработки. – Дис...канд. техн. наук: 05.15.09 / С.Н. Гапеев. – Днепропетровск, 2004. – 188 с.
 3. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах; КД 12.01.01.201-98. Мінвуглепром України. – К., 1998. – 150 с.
 4. Солодянкин А.В. Геомеханические модели в системе геомониторинга глубоких угольных шахт и способы обеспечения устойчивости протяженных выработок: Дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04., 05.15.09 / А.В. Солодянкин. – Днепропетровск, 2009. – 426 с.
- Рукопись поступила в редакцию 20.03.12

УДК 622.062:622.281

Б.Н. АНДРЕЕВ, д-р техн. наук, проф., Д.В. БРОВКО, канд. техн. наук, доц.,
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

НАУЧНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Выполнен анализ оценки состояния строительных объектов поверхности горнопромышленного комплекса по критерию снижения их несущей способности функционально связанного с вероятностью риска обрушения зданий и сооружений.

Проблема и ее связь с практическими задачами. Аварийные ситуации на объектах поверхности горнопромышленного комплекса, вызванные запроектными воздействиями, в общем случае непредсказуемы и сводятся к локальным аварийным воздействиям на отдельные конструкции одного здания: взрывы, пожары, карстовые провалы, дефекты конструкций и материалов, некомпетентная реконструкция (перепланировка) и т.п. случаи.

Как правило, воздействие рассматриваемого типа приводит к местным повреждениям несущих конструкций зданий. При этом в одних случаях такие ситуации этими первоначальными повреждениями и исчерпываются, а в других - несущие конструкции, сохранившиеся в первый момент аварии, не выдерживают дополнительной нагрузки, ранее воспринимавшейся поврежденными элементами, и тоже разрушаются.

Существующая нормативная база по управлению безопасностью строительных объектов не в полной мере справляется с возложенными на нее задачами, а норм, которые регламентируют риск аварии зданий, нет вообще.

Использование в строительстве методики нормирования, основанной на коэффициентах надежности, теоретически обеспечивает безопасность строительных конструкций. Однако опыт эксплуатации конструкций показывает, что надежность является необходимым, но не достаточным условием безопасности.

Установлено, что в 80% случаев причиной строительных аварий являются грубые человеческие ошибки, допускаемые при проектировании, изготовлении и монтаже несущих конструкций, которые при невыгодном сочетании с непредсказуемыми факторами природно-климатического и техногенного характера становятся причинами обрушений строящихся и уже построенных зданий и сооружений.

Таким образом, формирование процедур и методик, позволяющих устанавливать степени конструкционной безопасности зданий с учетом риска, является весьма *актуальной потребностью* горнопромышленного комплекса. Механизмом практической реализации политики обеспечения безопасности строительных объектов должна стать система управления рисками на всех стадиях эксплуатации объектов горнопромышленного комплекса.

Постановка задачи. Значительный износ существующих зданий и сооружений с большим сроком эксплуатации, а также низкое качество строительных объектов, возведенных в стране за последние четверть века, являются причинами роста числа обрушений зданий и сооружений, нередко сопровождающихся гибелью людей.

Исторически задачи повышения безопасности зданий и сооружений при длительном их использовании решались в нашей стране по разным методологическим концепциям, сыгравшим, несомненно, свою положительную роль. И, прежде всего, следует отметить, что еще на рубеже 60-70-х годов прошлого века усилия известных специалистов [1] были направлены на научное обоснование принципов задания уровня надежности зданий и сооружений еще на стадии их проектирования, что позволило в 80-х годах при переработке всех СНиПов по проектированию несущих элементов (строительных конструкций и грунтовых оснований) зданий и сооружений ввести соответствующие коэффициенты «запаса» (по надежности, условиям работы, по материалу и т.п.), которые заложены во всех СНиПах по проектированию и в настоящее время. Однако подобный методологический подход не позволяет оценивать фактическую надежность несущих элементов и в целом зданий и сооружений на стадии их эксплуатации, поскольку в классической теории [1,2] надежность любого объекта должна оцениваться вероятностью того, что объект на заданный момент окажется в каком-то заданном состоянии. Невозможность решения подобных задач оценивания надежности применительно к таким объектам, как эксплуатируемые здания и сооружения, в частности, обусловлена была тем, что в нормативной базе не была регламентирована классификация состояний строительных объектов и их несущих элементов, которая впервые в нашей стране была представлена в 1998 г. [3]. Однако даже введение этой классификации не позволяет оценивать надежность эксплуатируемых строительных объектов по показателю вероятности того, что объект в данное время (или через какое-то время) окажется в каком-то конкретном состоянии (например, в «работоспособном», «ограниченно работоспособном», или в каком-то другом состоянии), поскольку на практике для распознавания (идентификации) этого состояния нам никогда не хватает информации, которая должна вводиться в расчетные зависимости для вычисления вероятности очень сложного события, каковым является конкретное «техническое состояние» строительных объектов

Понимание этого факта привело к необходимости развития другого методологического направления по обеспечению безопасности эксплуатации строительных объектов, а именно к разработке научных основ технического диагностирования состояния несущих элементов зданий и сооружений. Вместе с тем эта классификация состояний зданий и сооружений далека от совершенства, так как на практике при обследованиях состояния строительных объектов она не позволяет с достаточной степенью объективности настолько точно оценивать расчетным путем «несущую способность» элементов строительных объектов, чтобы однозначно и обоснованно идентифицировать переход несущих элементов зданий и сооружений из одного состояния в другое.

Изложение материала и результатов. Неразрешимой на современном этапе все равно остается проблема объективного оценивания состояния эксплуатируемых зданий и сооружений по критериям несущей способности их элементов, которую всегда желательно определять не расчетно-теоретическими методами, как это предписывается нормативными документами [3], а аппаратными способами. Вместе с тем сложность данной проблемы носит, по крайней мере, двоякий характер.

Во-первых, при статических режимах загрузки зданий и сооружений выявить фактическую «несущую способность» элементов эксплуатируемых строительных объектов (грунтового основания и конструкций) в лучшем случае удастся лишь тогда, если на стадии строительства объекта установлены тензодатчики в грунтовое основание и в несущие строительные конструкции, регистрирующие в них фактические напряжения. Для обычных же зданий и сооружений, диагностирование состояния которых выполняется периодическими их обследованиями в соответствии с [3], можем с помощью средств НМК определять лишь фактическую прочность материала конструкций. Переход же от прочности материала конструкций R к их «несущей способности» $P_{нс}$ сегодня осуществляется лишь расчетно-теоретическими методами по правилам строительной механики и сопротивления материалов. В то же время специалистам известно, что такой переход

$$R \Rightarrow P_{нс}, \quad (1)$$

при сложных конструктивных схемах современных строительных объектов всегда сопряжен со значительными неточностями и неопределенностями даже при использовании современных численных методов расчета, например, в виде метода конечных элементов. Связано это, прежде всего, с тем, что параметр R следовало бы определять в значительном числе точек (расчетных сечений) строительных конструкций, к которым в эксплуатируемых зданиях и сооружениях зачастую нет доступа приборами НМК из-за наличия облицовочных отделочных покрытий как

внутри зданий, так и по их фасадам. Кроме того определение прочности материала (бетона) железобетонных конструкций (ЖБК) с помощью доступных средств НМК сегодня ограничивается толщинами до 60 см.

Что же касается грунтовых оснований, то доступа к ним под эксплуатируемыми зданиями и сооружениями вообще нет, и определить сопротивление (прочность) грунтов R под эксплуатируемым строительным объектом, как правило, практически не возможно.

Во-вторых, оценивание состояний зданий и сооружений по критерию «несущей способности» в соответствии с [3] методически может быть осуществимо, если было бы возможно измерить те фактические нагрузки (хотя бы статические) P_f , которые испытывают грунтовые основания и конструкции эксплуатируемых зданий и сооружений. Как известно, на стадии проектирования строительных объектов расчетным путем определяют предельные (критические) нагрузки $P_{кр}$, которые могут выдержать те или иные здания и сооружения. Тогда на стадии их эксплуатации оценивание состояния их несущих элементов (грунтового основания и конструкций) можно было бы выполнять по известному правилу строительной механики, что несущая способность обеспечена при условии

$$P_f \leq P_{кр}, \quad (2)$$

Однако, как можно измерить (каким динамометром) фактический вес здания, передаваемый на грунтовое основание? Поскольку параметр P_f в этом случае (по аппаратурным данным) неизвестен, то алгоритм оценивания по критерию его «несущей способности» (2) оказывается нереализуемым. Вследствие этого, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации строительных объектов, параметр P_f в (2) для всех несущих элементов (грунтового основания и конструкций) определяется расчетным путем (по известной процедуре сбора нагрузок). Вместе с тем процедура сбора нагрузок (ввиду ее трудоемкости и неточности) на практике всегда выполняется с «запасом», и поэтому расчетное значение нагрузок как правило, превосходит фактическое значение нагрузок

$$(P_f)^p > P_f, \quad (3)$$

а фактическое значение нагрузок P_f остается неизвестным.

Таким образом, алгоритм диагностирования состояния зданий и сооружений по критерию их «несущей способности» (2) оказывается нереализуемым. Кроме того, практика показывает, что не исключены ошибки в расчетах параметра, когда он оказывается заниженным в сравнении с фактическими нагрузками что при использовании алгоритма (2) дает вообще неадекватные оценки о состоянии объекта, приводящие к обрушениям зданий и сооружений, когда при их проектировании или обследовании на стадии эксплуатации вместо алгоритма (2) фактически оказывается ситуация

$$(P_f)^p < P_f > P_{кр}, \quad (4)$$

Анализ причин большинства обрушений зданий и сооружений свидетельствует о том, что основной причиной этих обрушений является ситуация (4) ввиду незнания фактических нагрузок (или трудно прогнозируемых). В случае воздействия на здания и сооружения динамических (и в особенности случайных динамических) нагрузок ситуация лишь еще больше усугубляется (при воздействии ветровых и сейсмических нагрузок, технологических нагрузок и т.п.).

В этой связи представляется актуальным для оценивания надежности эксплуатируемых зданий и сооружений использовать теорию рисков возникновения опасных и аварийных ситуаций. Вместе с тем для несущих элементов строительных объектов применение этой теории находится в зачаточном состоянии. В этой связи в данной области имеется весьма ограниченное число публикаций, например, [4], свидетельствующее о целесообразности исследования применимости теории рисков к технической диагностике строительных объектов.

Если оценивать риск возникновения опасной и (или) аварийной ситуации с эксплуатируемым строительным объектом по вероятности P разрушения (выхода из строя) одного из несущих элементов объекта, влекущего за собой разрушение данного объекта (здания, сооружения) или невозможность выполнения им возложенных на него функций. При этом предполагается, что возникновение опасной и аварийной ситуации является следствием снижения несущей способности $P_{нс}$ несущих элементов строительного объекта. Также предполагается, что на стадии проектирования объекта для всех его несущих элементов (грунтового основания и конструкций) была задана расчетная (требуемая) несущая способность $[P_{нс}]$. Длительная эксплуатация объекта со временем приводит к снижению несущей способности (по разным причинам) его

элементов на некоторые величины $\Delta(P_{нс})$ так, что фактическая несущая способность $P_{нс}$ элементов объекта становится равной

$$(P_{нс})_{\phi} = [P_{нс}] - \Delta(P_{нс}), \quad (5)$$

Далее вводим коэффициент снижения несущей способности η который определяем:

$$\eta = \frac{[P_{нс}]}{(P_{нс})_{\phi}}. \quad (6)$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} \text{при } \Delta(P_{нс}) = 0 &\Rightarrow [P_{нс}] = (P_{нс})_{\phi} \\ \eta = 1 & \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{при } \Delta(P_{нс}) > 0 &\Rightarrow (P_{нс})_{\phi} \Rightarrow 0 \\ \eta = \infty & \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Т.е. коэффициент η может изменяться в пределах

$$\eta = \{1, \infty\}. \quad (9)$$

Очевидно, что при возрастании показателя η (при снижении несущей способности элементов объекта $P_{нс}$) вероятность разрушения объекта, как показателя риска возникновения опасной и аварийной ситуации, возрастает. Следовательно, в принципе существует некоторая зависимость вероятности обрушения строительного объекта P от показателя снижения несущей способности его элементов η (5) - (9)

$$P = P(\eta), \quad (10)$$

При этом с возрастанием $\eta = \{1, \infty\}$ вероятность разрушения объекта P возрастает от 0 до 1

$$P(\eta) = \{0, 1\}. \quad (11)$$

Можно себе представить ситуацию, когда показатель η может быть и меньше 1. Такое бывает в том случае, если

$$(P_{нс})_{\phi} > [P_{нс}], \quad (12)$$

это на практике означает - строительный объект построен с запасом по несущей способности, что в практике проектирования строительных объектов (в [2] и в СНиПах) регламентируется соответствующими коэффициентами γ надежности, условий работы и т.п.

$$\gamma = (P_{нс})_{\phi} / [P_{нс}]^{\gamma}, \quad (13)$$

С этой точки зрения коэффициенты надежности (запаса) γ являются обратными по отношению к показателю η .

В теории рисков принято, что зависимости типа (10) должны задаваться на основе большой статистики по опыту эксплуатации объектов-аналогов или на основе экспертных оценок.

Попытаемся задать графическую форму зависимости (10), представленную на рис.1 кривой А-В-С-Д. Логика ее построения заключается в следующем.

Для случая, когда имеются запасы по несущей способности строительного объекта и ≤ 1 , вероятность обрушения объекта P , очевидно, следует принимать равной нулю (точка А на рис. 1).

При снижении несущей способности элементов объекта $\Delta(P_{нс})$ на 10%, когда $\eta = 1,1$ оценивают вероятность обрушения строительного объекта, равной $P = 0,85$ (точка С на рис. 1).

Для придания зависимости (10) графической формы, близкой к параболе, между точками А и С появляется точка В с вероятностью обрушения объекта $P = 0,50$, что соответствует снижению несущей способности элементов $\Delta(P_{нс})$ на 7,6% или $\eta = 1,076$.

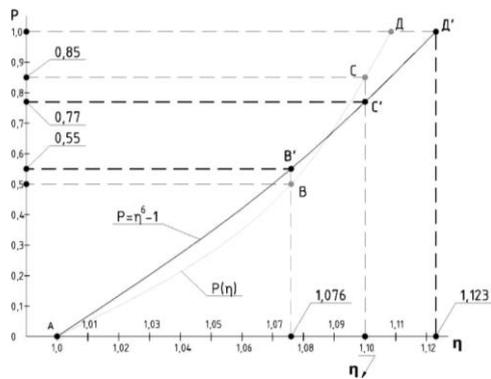


Рис. 1. График функции для зависимости $P=P(\eta)$

При этом результаты вполне согласуются с погрешностью расчетов фактической несущей способности элементов эксплуатируемых зданий и сооружений при их обследовании в соответствии с обязательными требованиями по [1-3].

Точка D (см. рис. 1) получается автоматически по результатам построения зависимости (10) по точкам A, B, C в виде гладкой параболы.

Если принять, что графическое построение зависимости (10) по рассмотренным точкам A, B, C, D является достаточно логичным и обоснованным, то можно выполнить аппроксимацию этой зависимости как параболической функции вида

$$P=A\eta^B+C, \quad (14)$$

в которой должны быть аппроксимированы параметры « A », « B », « C » с максимальным приближением зависимости (14) к графику функции (10), построенной по точкам $A-B-C-D$ (см.рис. 1).

Результат аппроксимации в диапазоне изменения показателя $1 \leq \eta \leq 2$, дает следующее аналитическое выражение для функции (14)

$$P=\eta^6-1C, \quad (15)$$

Как следует из рис. 1, функция (15), проходящая через точки A, B', C', D' , достаточно близка по своей графической форме к графику, построенному по точкам $A-B-C-D$.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, использование зависимости (10) в виде (15) позволяет в принципе оценивать состояние строительных объектов по критерию снижения их несущей способности функционально связанного с вероятностью риска обрушения зданий и сооружений. Вместе с тем задание функции (10), (15), выполненное авторами данной статьи, должно несомненно подвергаться корректировке другими специалистами - экспертами с учетом особенностей строительных объектов различного назначения.

Очевидно, что использование показателя рисков опасных и аварийных ситуаций вполне оправдан для очень ответственных объектов, аварии на которых потенциально опасны по своим последствиям для людей и окружающей среды.

Целесообразность использования показателя (10), (11), (15) диктуется и тем, что с его помощью может быть в дальнейшем обоснованно задана количественная взаимосвязь между снижением «несущей способности» элементов зданий и сооружений с «состояниями» строительных объектов, регламентируемыми в [3] лишь на качественном уровне, что на практике снижает объективность оценки фактического состояния эксплуатируемых зданий и сооружений при ситуациях (1), (4). Поэтому дальнейшие исследования по применению теории рисков могут дать существенный эффект в повышении надежности эксплуатируемых зданий и сооружений.

Список літератури

1. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. -М.: Стройиздат, 1971.
2. ДБН В.1.2-14-2009 СНББ Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ
3. НПАОП 45.2-1.01-98 Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд.
4. Чебоксаров Д.В. Контроль и регулирование риска аварий находящихся в эксплуатации зданий и сооружений. -М.: Сб. научных трудов, вып.№8, под ред. проф. К.И. Еремина «Предотвращение аварий зданий и сооружений», 2009. – с.212-215.

Рукопись поступила в редакцию 29.02.12