

МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.834

DOI:10.7242/echo.2024.2.2

К ОЦЕНКЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ПОДРАБОТКИ НА ЗДАНИЯ Г. БЕРЕЗНИКИ

Е.Л. Васильева

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Затопление выработанного пространства рудника БКПРУ-1 после аварии 2006 года привело к интенсификации процесса сдвижения и значительному увеличению деформаций земной поверхности, что негативно сказывается на многоэтажной застройке г. Березники. В связи с этим, регулярно проводится массовая оценка влияния подработки на объекты городской застройки путем сопоставления расчетных показателей деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными значениями для рассматриваемых зданий. Использование различных методов прогнозирования развития процесса сдвижения во времени позволяет выполнить оценку влияния деформаций земной поверхности от подработки на здания г. Березники до 2035 года.

Ключевые слова: подработанные здания, процесс сдвижения, ВКМКС, оседание земной поверхности, допустимые и предельные показатели деформации.

Одним из последствий ведения горных работ на ВКМКС являются деформации земной поверхности, негативно сказывающиеся на сохранности расположенных на ней зданий и сооружений. Затопление выработанного пространства рудника БКПРУ-1 в 2006 году привело к активизации процесса сдвижения со значительным ростом скоростей оседания вплоть до образования провалов. В связи с этим актуальной задачей становится массовая оценка влияния подработки на многоэтажную застройку г. Березники, расположенную непосредственно над затопленными выработками. В зоне влияния подработки расположены около 800 многоквартирных жилых домов, по состоянию на 2023 год порядка 110 домов расселено из-за аварийного состояния, вызванного деформациями земной поверхности. Контроль фактического состояния зданий производится специализированной службой ПАО «Уралкалий», периодичность осмотра определяется в зависимости от интенсивности процесса сдвижения. В актах обследования фиксируется количество и местоположение трещин, динамика их развития, описываются различные дефекты конструкций (рисунок 1). В некоторых зданиях г. Березники установлены системы on-line мониторинга, которые так же позволяют сделать выводы о причинах и характере их повреждений [1].

Согласно действующим «Указаниям...» [2] оценка влияния подработки на здания и сооружения осуществляется путем сравнения расчетного показателя деформаций земной поверхности Δl с его допустимыми $[\Delta l_d]$ и предельными $[\Delta l_n]$ значениями для рассматриваемых объектов. Допустимыми деформациями считаются такие, при которых возможны повреждения в зданиях и сооружениях, не вызывающие потери их эксплуатационных качеств. При превышении допустимых деформаций, необходимо применение конструктивных или горнотехнических мер охраны. Достижение предельных деформации может вызвать аварийное состояние зданий с угрозой для жизни людей, требующее выполнение оценки целесообразности применения конструктивных и горнотехнических мер охраны для дальнейшей эксплуатации объекта.



Рис. 1. Пример эскиза фасада жилого дома с нанесенными дефектами наружных стен, выполняемого специализированной службой ПАО «Уралкалий»

Расчетный показатель суммарных деформаций определяется по формуле [3]:

$$\Delta\ell = \ell \sqrt{m_e^2 \varepsilon^2 + \frac{m_k^2 H^2}{R^2}} \tag{1}$$

где ℓ и H – длина и высота здания, м; m_e и m_k - коэффициенты условия работы, [3]; ε - относительная горизонтальная деформация, мм/м; R - радиус кривизны земной поверхности, м.

В формуле (1) основным показателем опасного влияния подработки на здания и сооружения являются относительные горизонтальные деформации. Определение значений относительных горизонтальных деформаций осуществляется методами, основанными на данных маркшейдерских наблюдений, а при их отсутствии – по результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния подработанного массива [5]. Так как процесс сдвижения на ВКМКС характеризуется большой продолжительностью, включающей стадии ускорения и затухания, то для своевременного принятия мер по охране подрабатываемых объектов выполняется прогноз развития процесса сдвижения во времени [6, 7]. В настоящий время использование прогнозных графиков нарастания оседаний земной поверхности в условиях затопленного шахтного поля рудника БПКРУ-1 позволяет выполнить расчеты по определению горизонтальных деформаций до 2035 года (рисунок 2).

Применяемая методика расчета предельных и допустимых показателей деформаций появилась в 70-е годы XX века на основании исследований ВНИМИ для угольных месторождений и изложена в «Правилах охраны...» [3]. Расчет осуществляется по следующим формулам:

допустимые показатели:

$$[\Delta\ell_d] = [\Delta\ell_d]_н n_1 n_2 n_3 n_4 n_5, \tag{2}$$

предельные показатели:

$$[\Delta\ell_p] = [\Delta\ell_p]_н n_1 n_2 n_3 n_4 n_5, \tag{3}$$

где $[\Delta\ell_d]_н$ и $[\Delta\ell_p]_н$ – нормативные допустимый и предельный показатели деформаций, определяемые в соответствии с [3], мм; n_1 – коэффициент, учитывающий грунтовые условия; n_2 – коэффициент, учитывающий материал и толщину наружных стен зданий; n_3 – коэффициент, учитывающий износ наружных стен зданий; n_4 – коэффициент, учитывающий наличие «жестких» перекрытий; n_5 – коэффициент, учитывающий форму зданий.

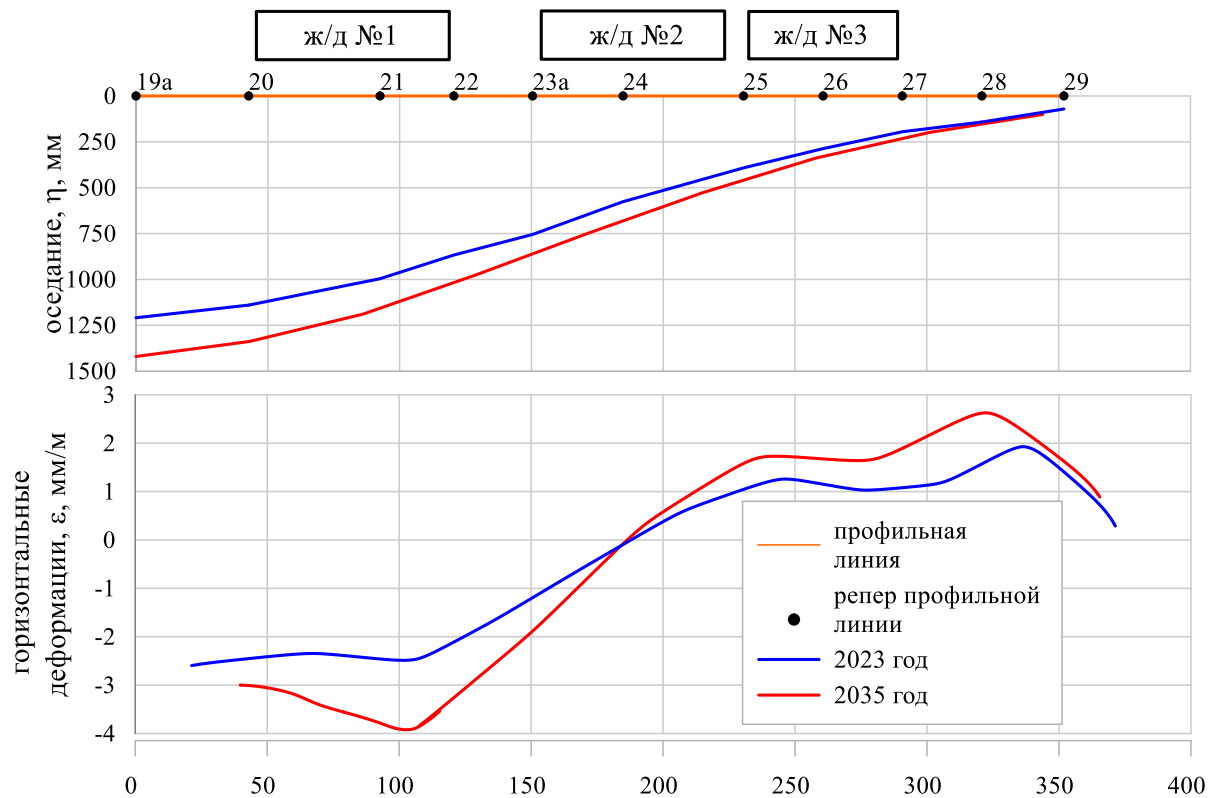


Рис. 2. Графики распределения оседания и горизонтальных деформаций земной поверхности вдоль профильных линий на 2023 год и 2035 год, полученных на основании данных маркшейдерских измерений

Несмотря на такие достоинства, как простота и адекватность получаемых показателей для определенных групп зданий, данная методика не учитывает этажность и конструктивные особенности современного строительства. В 2008 году были разработаны «Указания...» [4], адаптирующие данную методику под особенности развития процесса сдвижения на ВКМКС. В формулы (2) и (3) введены коэффициенты, учитывающие скорость оседания земной поверхности и корректирующие допустимые и предельные показатели деформации. Однако, и в ней не были определены параметры, позволяющие вычислить значения предельных и допустимых деформаций для зданий, не предусмотренных «Правилами...» [3].

В связи с этим Горным институтом УрО РАН совместно с Институтом механики сплошных сред УрО РАН предложена новая методика расчета показателей предельных и допустимых деформаций. Согласно предлагаемой методике [8], расчет осуществляется по формулам:

допустимые показатели:

$$[\Delta\ell_d] = \ell[\varepsilon_d]_н k_1 k_2, \tag{4}$$

предельные показатели:

$$[\Delta\ell_p] = \ell[\varepsilon_p]_н k_1 k_2, \tag{5}$$

где $[\varepsilon_d]_н$ и $[\varepsilon_d]_п$ – допустимая и предельная величина горизонтальной деформации поверхности грунта, мм/м; k_1 – коэффициент, учитывающий грунтовые условия; k_2 – коэффициент, учитывающий износ несущих конструкций; l – длина здания в направлении измеренной деформации земной поверхности, м.

Преимуществом данной методики является то, что она базируется на определении предельной и допустимой горизонтальной деформации для конкретных групп зданий. Расчет выполняется методом математического моделирования исходя из условия потери несущей способности наиболее уязвимого конструктивного элемента [8]. В расчетах учитывается материал стен, этажность, типы фундаментов, процент армирования ж/б элементов, класс прочности бетона и др.

Таким образом, комплексный подход, включающий в себя учет фактического состояния зданий и результатов инструментального мониторинга, сопоставление расчетных показателей деформаций с допустимыми и предельными значениями для рассматриваемых объектов, расположение зданий относительно направления действия максимальных горизонтальных деформаций, позволяет сделать выводы о степени влияния подработки на здания и возможности их дальнейшей эксплуатации. Прогнозирование развития процесса сдвижения во времени позволяет выполнять оценки влияния горных работ на заданные периоды времени для своевременного принятия мер по охране подрабатываемых объектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР 124020500031-4)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shardakov I., Varayakh A., Yepin V., Tsvetkov R., & Glot I. Control of surface subsidence based on building deformation monitoring data // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2019. – Т. 265. – С. 05026.
2. Указания (мероприятия) по защите рудников ПАО «Уралкалий» от затопления и охране объектов на земной поверхности от вредного влияния подземных разработок на Верхнекамском месторождении солей. Ч. 1. Основные положения: утв. ПАО «Уралкалий». – Пермь, Березники, 2022 г. – 117 с.
3. ПБ 07-296-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – М.: Технорма, 2015 – 194 с.
4. Указания по допустимым условиям подработки эксплуатируемых зданий и сооружений на Верхнекамском месторождении калийных солей (с изменениями от 2008 г.). – СПб., 2008. – 45 с.
5. Барях А.А., Тенисон Л.О., Самоделкина Н.А. К определению горизонтальных деформаций подработанных территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 11. – С. 5-18. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-11-0-5.
6. Тенисон Л.О. Прогнозирование вертикальных деформаций земной поверхности в условиях затопленного рудника БКПРУ-1 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №. 1. – С. 230-242.
7. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Геомеханическая оценка интенсивности деформационных процессов над затопленным калийным рудником // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 4. – С. 33-46.
8. Гусев Г.Н., Шардаков И.Н., Барях А.А., Глот И.О. Деформационное взаимодействие панельных жилых домов с грунтом в зоне техногенного воздействия // Вычислительная механика сплошных сред. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 36-45. – DOI: 10.7242/1999-6691/2023.16.1.3.