

# 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  $\Delta l$  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.

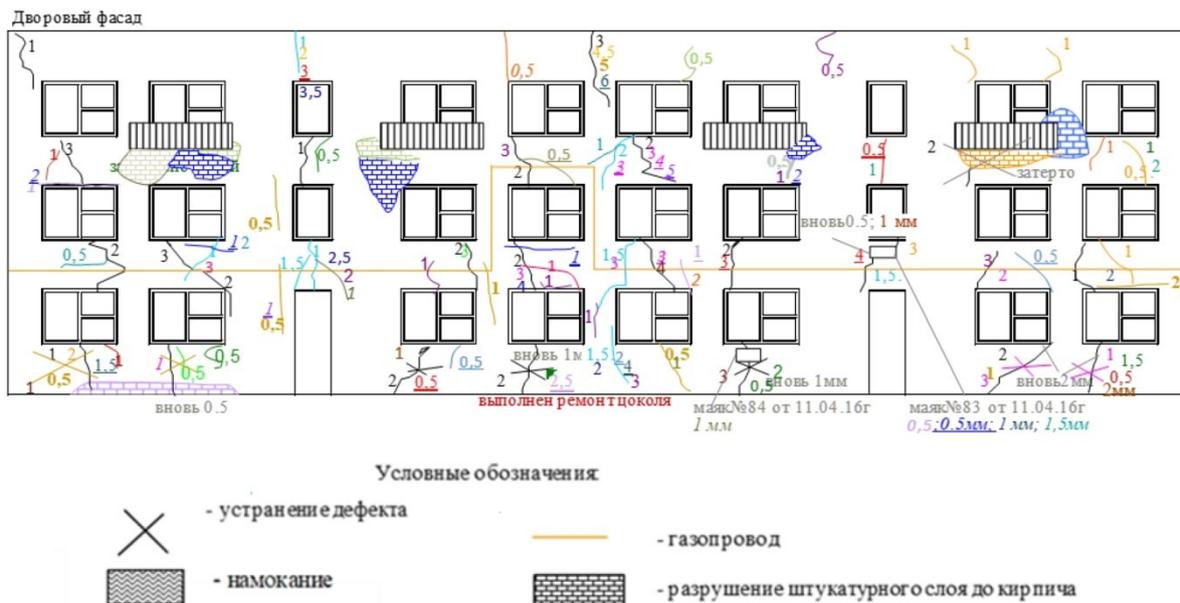


Рис. 1. Пример эскиза фасада жилого дома с нанесенными дефектами наружных стен, выполняемого специализированной службой ПАО «Уралкалий»

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  $\ell$  и  $H$  – длина и высота здания, м;  $m_e$  и  $m_k$  - коэффициенты условия работы, [3];  $\varepsilon$  - 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 настоящее 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.

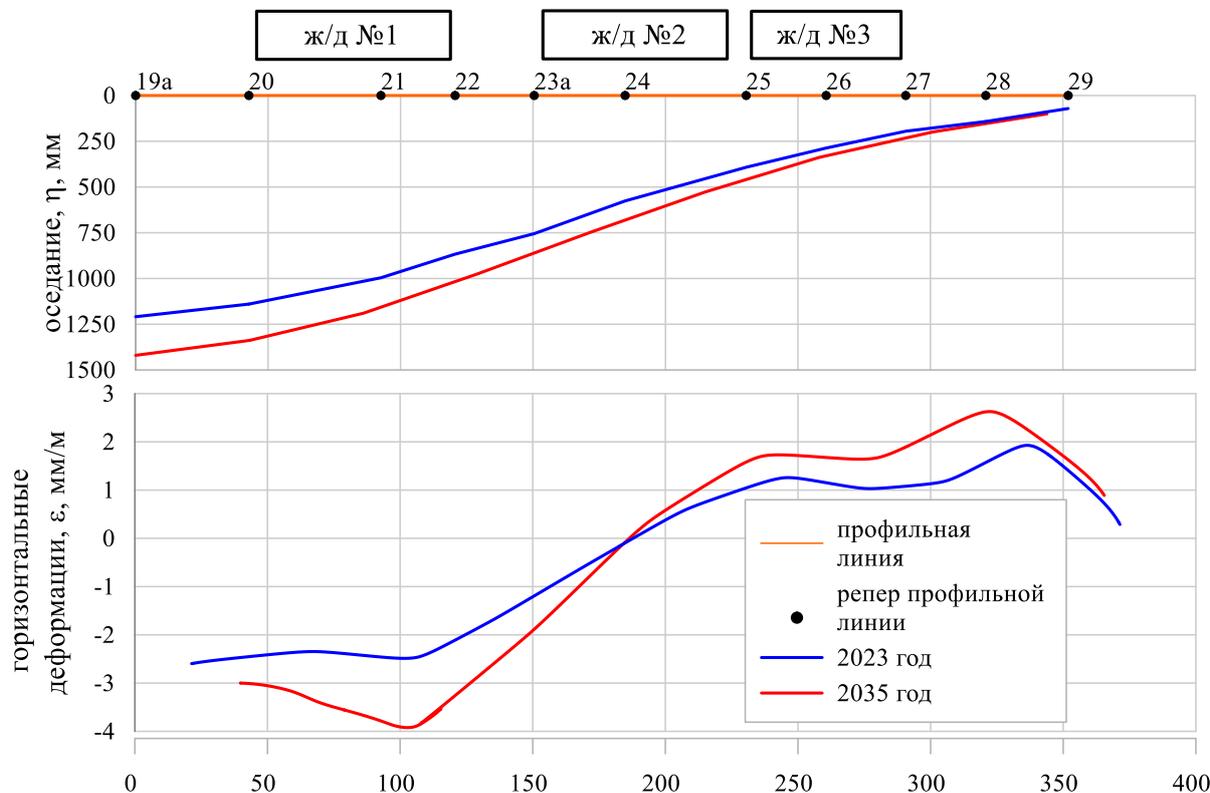


Рис. 2. Графики распределения оседания и горизонтальных деформаций земной поверхности вдоль профильных линий на 2023 год и 2025 год, полученных на основании данных маркшейдерских измерений

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.