

УДК 622.837:622.838

Совершенствование метода прогноза технического состояния зданий на подрабатываемых территориях

Блинникова Е. В.

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела, Донецк, Украина

Аннотация

Разработана методика оценки технического состояния подрабатываемых зданий с использованием нового универсального показателя – остаточного деформационного ресурса и определены коэффициенты остаточного деформационного ресурса жилых, общественных и одноэтажных производственных зданий в зависимости от степени их деформаций перед подработкой.

Одним из главных параметров, учитываемых при определении условий подработки зданий, является их техническое состояние перед подработкой. Для жилых и общественных бескаркасных зданий применяется предложенный Решетовым Г. А. [1] способ оценки их технического состояния по количественному выражению осредненного износа стен всего здания, аналогично износу равномерно изношенных стен, применяемому в практике коммунального хозяйства. Осредненный износ стен определяется двумя способами. Первый из них применен в Правилах [2] и заключается в определении износа участков стен с различной степенью деформирования по установленным признакам, включая максимальное раскрытие трещин. Общий износ стен по этому способу вычисляют путем сложения износа отдельных участков, взвешенных по удельному весу в общей площади стен. По второму способу, который применен в Правилах [3], износ стен здания (в процентах) определяется по формуле:

$$I_{ст} = 38 \sqrt{\delta_{уд}},$$

где $\delta_{уд}$ – удельная ширина раскрытия трещин по наружным стенам (мм/м), равная отношению суммарной ширины раскрытия трещин по двум-четырем горизонтальным сечениям (верх цоколя, карниз, междуэтажные пояса) к произведению периметра здания на число выбранных сечений. В зависимости от износа стен до 10 %, 11–20 %, 21–30 % и более 30% определяется коэффициент, соответственно равный 1,0, 0,85, 0,7 и 0,5, который учитывается при определении допустимого показателя суммарных деформаций.

Такой усредненный подход к оценке технического состояния зданий имеет три существенных недостатка. Первый – это его ненадежность. Согласно результатам многочисленных наблюдений, деформации зданий, характеризуемые раскрытием трещин, имеют неравномерный характер: на одних участках стен трещины достигают максимальных значений, а на других – вообще отсутствуют. Характерным примером могут служить деформации стен при сосредоточенных деформациях земной поверхности с образованием уступов, когда трещины располагаются компактно на небольших участках стен (зонах сосредоточенных деформаций). Если допустить, что под жилым домом размерами 34x12 м проходит уступ и в одной из продольных стен образовались три трещины раскрытием 15, 7 и 4 мм, а в другой – две по 5 и 3 мм, то суммарная ширина раскрытия трещин в этом сечении будет равна 34 мм, удельная – 0,37 мм/м и износ стен составит 23 %. При таком износе здание может воспринимать деформационные воздействия с понижающим коэффициентом 0,7 к нормативным допустимым показателям суммарных деформаций [2, 3]. Но, с другой стороны, трещина раскрытием 15 мм свидетельствует о нарушении условий эксплуатации здания [4] и недопустимости деформационных воздействий на него без применения мер защиты.

Вторым недостатком существующей методики является то, что показатель износа стен не применяется ни в одном из известных эмпирических уравнений взаимосвязи деформаций зданий с расчетными показателями деформаций земной поверхности, а используется только

максимальное раскрытие трещин в стенах [2, 5]. Это свидетельствует о внутреннем противоречии методики, так как техническое состояние зданий и условия их подработки характеризуются разными критериями: первое – осредненным износом наружных стен, а второе – ущербом от подработки, составляющим 20 % от стоимости здания.

Третьим недостатком существующей методики является ее неопределенность с точки зрения возможности целенаправленного повышения допустимых условий подработки путем устранения «слабого звена». Имеются многочисленные примеры локального применения мер защиты для деформированных участков и конструкций подрабатываемых зданий (междуоконных простенков, проемов, узлов опирания перекрытий, лестничных площадок и др.), после которого они обретали возможность воспринимать новые деформационные воздействия.

Проанализируем, каким образом износ стен перед подработкой влияет на допустимые показатели суммарных деформаций жилых и общественных зданий. Согласно Правилам [2] при износе стен более 30 %, при котором максимальное раскрытие трещин в стенах превышает 12 мм, коэффициент износа принимается равным 0,5. При этом состояние зданий может быть любым, вплоть до аварийного, но это никак не повлияет на условия их подработки. Таким образом, Правила [2] не детализируют техническое состояние зданий при износе стен более 30 %, что свидетельствует о ненадежности рассматриваемой методики. С другой стороны, при отсутствии трещин в стенах зданий эта же методика рекомендует определять их износ как отношение времени эксплуатации зданий до подработки к расчетному сроку службы. Это уже другая крайность: для зданий с расчетным сроком службы 100 лет, которые были построены 30–40 лет тому назад, но находятся в хорошем состоянии, по этой методике износ стен превышает 30 % и для них коэффициент износа надо принимать равным 0,5, т. е. таким, какой может быть получен для аварийного здания.

Методика оценки технического состояния производственных зданий перед подработкой, приведенная в Правилах [2], предусматривает их деление на четыре группы, каждой из которых соответствует определенный коэффициент состояния. Если состояние хорошее, то коэффициент равен 1,1; удовлетворительное – 1,0; неудовлетворительное – 0,9; ветхое – 0,7. Анализ состояния зданий и соответствующие им коэффициенты свидетельствуют о необоснованности и ненадежности рассматриваемой методики. При трещинах более 2 мм без дальнейшей детализации и ограничения их максимального раскрытия состояние зданий оценивается как неудовлетворительное и нормативный допустимый показатель деформаций понижается на 10 % (понижающий коэффициент состояния равен 0,9). Минимальный понижающий коэффициент, который учитывает состояние подрабатываемых зданий, равен 0,7 и принимается при ветхом состоянии, которое характеризуется разрушительными деформациями стен и элементов каркаса. Такое состояние выходит за пределы допустимого и не может учитываться при определении допустимых условий подработки.

Приведенный анализ показывает, что существующие методы прогноза технического состояния подрабатываемых зданий нуждаются в усовершенствовании. Исходя из того, что здания, построенные без мер защиты, способны воспринимать деформационные воздействия от влияния горных выработок, предлагается техническое состояние подрабатываемых зданий характеризовать деформационным ресурсом.

При подработке здания, как правило, подвергаются многократному влиянию горных выработок, образуемых в породном массиве при выемке запасов угля в одном или нескольких пластах. Исходя из этого, принимаем, что при первичной подработке здания обладают полным деформационным ресурсом, характеризуемым нормативными допустимыми показателями суммарных $[\Delta l_{ж}]_н$ или сосредоточенных $[\Delta h_y]_н$ деформаций. В процессе влияния деформаций земной поверхности от первичной и последующих (повторных) подработок в зданиях образуются структурные деформации, которые оценивают по обобщенному деформационному критерию технического состояния – максимальному раскрытию трещин в наружных стенах δ_{max} , допустимое значение которого $[\delta_{max}]$ соответствует значениям $[\Delta l_{ж}]_н$ или $[\Delta h_y]_н$, т. е. полному деформационному ресурсу. Таким образом, в предлагаемой методике, в отличие от Правил [2, 3], техническое состояние подрабатываемых зданий и нормативные допустимые показатели деформаций определяются в зависимости от одного и того же обобщенного деформационного критерия δ_{max} .

Так как в процессе подработки, в зависимости от величин деформаций земной поверхности, здания в той или иной мере утрачивают свой деформационный ресурс, то допустимые показатели деформаций $[\Delta l_{ж}]$ и $[\Delta h_{y}]$, характеризующие остаточный деформационный ресурс перед вторичной и последующими подработками, определяются с учетом влияния предыдущих подработок по формулам:

$$[\Delta l_{ж}] = [\Delta l_{ж}]_н k_{р.ж}, \quad (1)$$

$$[\Delta h_{y}] = [\Delta h_{y}]_н k_{р.ж}, \quad (2)$$

где $k_{р.ж}$ – коэффициент остаточного деформационного ресурса, определяемый в зависимости от вида деформаций земной поверхности (плавные или сосредоточенные) и степени деформаций зданий перед подработкой.

Опыт подработки жилых и общественных зданий показывает, что в процессе длительного влияния горных выработок и в перерывах между подработками происходит приспособление зданий к деформационным воздействиям. В Правилах [6] это явление учитывается при помощи коэффициентов приспособления в расчетных показателях суммарных деформаций. Но более правильно – не корректировать расчетные показатели, а учесть фактор приспособления при определении остаточного деформационного ресурса, т. е. допустимых показателей деформаций. Расчетная схема для определения остаточного деформационного ресурса (рис. 1) составлена, исходя из того, что условия повторной подработки отличаются от предыдущей.

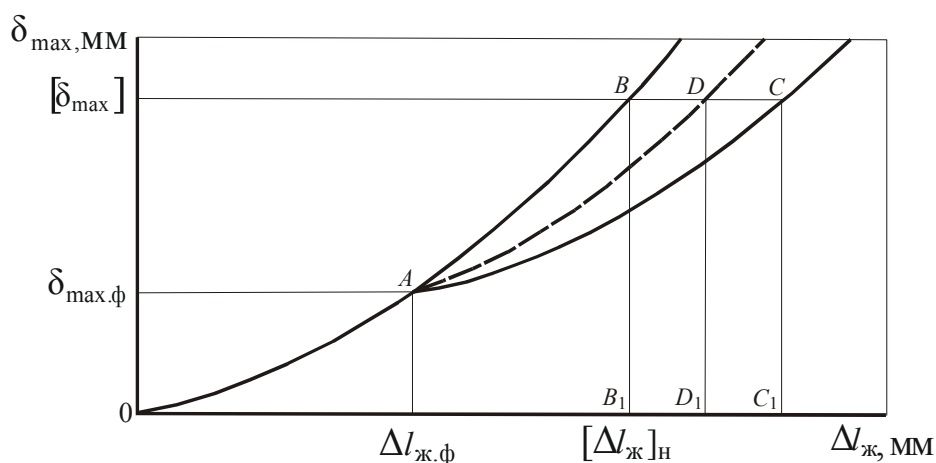


Рис. 1. Расчетная схема для определения остаточного деформационного ресурса жилых и общественных зданий

Если в результате предыдущих подработок в здании образовались трещины максимальной ширины раскрытия $\delta_{\max,\phi}$ (участок кривой OA), то при повторной – деформации здания развиваются по другой кривой AD , которая занимает промежуточное положение между первоначальной на участке AB и кривой AC , которая повторяет OB с началом координат в точке A из предположения, что здание полностью восстановило свой деформационный ресурс.

По предлагаемой схеме мы исходим из того, что деформационный ресурс здания, утраченный при предыдущих подработках, восстановлен частично и остаточный равен $[\Delta l_{ж}]_н - \Delta l_{ж,\phi}$, а не $[\Delta l_{ж}]_н - \Delta l_{ж,\phi}$, когда приспособление не учитывается, или $[\Delta l_{ж}]_{п.п} - \Delta l_{ж,\phi}$, если утраченный ресурс полностью восстановлен. Принимаем $BD = DC$, тогда $BD = ([\Delta l_{ж}]_{п.п} - [\Delta l_{ж}]_н) / 2$, где $[\Delta l_{ж}]_{п.п} = \Delta l_{ж,\phi} + \Delta l_{ж}([\delta_{\max}] - \delta_{\max,\phi})$. Подставляя значение $[\Delta l_{ж}]_{п.п}$, найдем восстановленную часть деформационного ресурса:

$$BD = \frac{\Delta l_{ж,\phi} + \Delta l_{ж}([\delta_{\max}] - \delta_{\max,\phi}) - [\Delta l_{ж}]_н}{2}.$$

Суммируя восстановленную часть деформационного ресурса с полным нормативным $[\Delta l_{ж}]_н$, вычислим деформационный ресурс с учетом приспособления:

$$[\Delta l_{ж}]_{п} = \frac{\Delta l_{ж}([\delta_{\max}]) + \Delta l_{ж}(\delta_{\max, \phi}) + \Delta l_{ж}([\delta_{\max}] - \delta_{\max, \phi})}{2}.$$

Вычитая из $[\Delta l_{ж}]_{п}$ утраченный ресурс $\Delta l_{ж, \phi}$, получим остаточный деформационный ресурс с учетом приспособления:

$$[\Delta l_{ж}]_{п} - \Delta l_{ж, \phi} = \frac{\Delta l_{ж}([\delta_{\max}]) - \Delta l_{ж}(\delta_{\max, \phi}) + \Delta l_{ж}([\delta_{\max}] - \delta_{\max, \phi})}{2}.$$

Коэффициент остаточного деформационного ресурса жилых и общественных зданий при плавных деформациях земной поверхности определяется по формуле:

$$k_{р.ж} = \frac{\Delta l_{ж}([\delta_{\max}]) - \Delta l_{ж}(\delta_{\max, \phi}) + \Delta l_{ж}([\delta_{\max}] - \delta_{\max, \phi})}{2\Delta l_{ж}([\delta_{\max}])}. \quad (3)$$

Аналогично определяется коэффициент остаточного деформационного ресурса жилых и общественных зданий при сосредоточенных деформациях земной поверхности с образованием уступов:

$$k_{р.ж} = \frac{\Delta h_{y}([\delta_{\max}]) - \Delta h_{y}(\delta_{\max, \phi}) + \Delta h_{y}([\delta_{\max}] - \delta_{\max, \phi})}{2\Delta h_{y}([\delta_{\max}])}. \quad (4)$$

Функции $\Delta l_{ж}(\delta_{\max})$ и $\Delta h_{y}(\delta_{\max})$ вычисляются с использованием уравнений взаимосвязи [7].

Для практических расчетов допустимые значения максимального раскрытия трещин $[\delta_{\max}]$ в поясах и простенках наружных стен жилых и общественных зданий разделены на семь степеней деформаций (табл. 1).

Табл. 1. Степени деформаций жилых и общественных зданий в зависимости от максимального раскрытия трещин в наружных стенах

Степень деформаций здания	Максимальное раскрытие трещин, мм при разряде здания			
	1	2	3	4
I	0,0–0,5	0,0–1,0	0,0–1,0	0,0–1,5
II	0,6–1,0	1,1–2,0	1,1–2,5	1,6–3,0
III	1,1–1,5	2,1–3,0	2,6–4,0	3,1–4,5
IV	1,6–2,0	3,1–4,0	4,1–5,5	4,6–6,5
V	2,1–2,5	4,1–5,0	5,6–7,0	6,6–8,5
VI	2,6–3,0	5,1–6,0	7,1–8,5	8,6–10,5
VII	3,1–3,5	6,1–7,0	8,6–10,0	10,6–12,5

Как показали результаты численных исследований, коэффициенты остаточного деформационного ресурса, соответствующие каждой степени деформаций, незначительно отличаются в зависимости от этажности зданий и их разряда. Исходя из этого, определены усредненные значения $k_{р.ж}$ при плавных и сосредоточенных деформациях земной поверхности (табл. 2).

Табл. 2. Коэффициенты остаточного деформационного ресурса жилых и общественных зданий $k_{р.ж}$

Деформации земной поверхности	Значение $k_{р.ж}$ при степени деформаций здания						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Плавные	1	0,83	0,70	0,58	0,46	0,33	0,19
Сосредоточенные	1	0,80	0,67	0,57	0,46	0,35	0,23

Степень деформаций подрабатываемых зданий определяется по результатам обследования с учетом величин максимального раскрытия трещин, характерных для предстоящей подработки. Если по прогнозу здание будет испытывать растяжение и кривизну выпуклости, то $\delta_{\max, \phi}$ определяется по расходящимся наклонным и вертикальным трещинам (рис. 2, а); если ожидаются сжатие и кривизна вогнутости – учитываются сходящиеся наклонные и горизонтальные (при длине здания больше двух высот) трещины (рис. 2, б); при образовании уступа – наклонные и вертикальные трещины, расположенные компактно в зоне сосредоточенных деформаций над уступом (рис. 2, в).

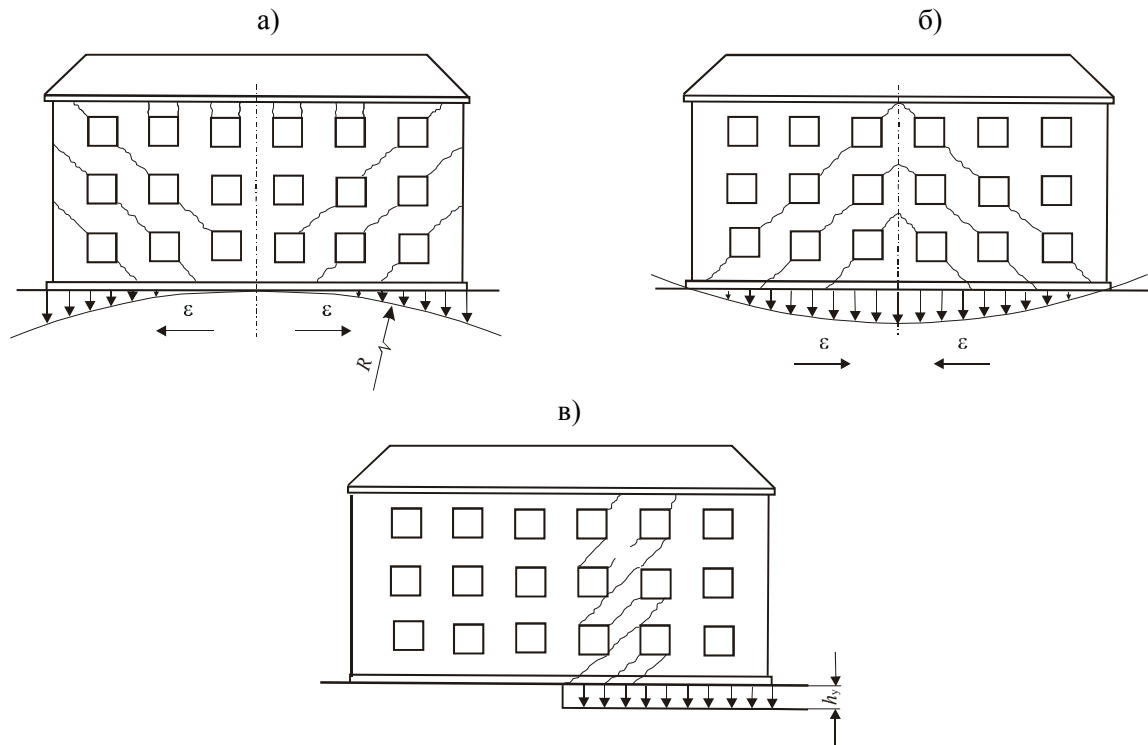


Рис. 2. Характер деформирования стен каменных зданий: а – при деформациях растяжения и кривизне выпуклости; б – при сжатии и кривизне вогнутости; в – при образовании уступа

Оценка технического состояния подрабатываемых производственных зданий производится по обобщенному деформационному критерию максимального раскрытия трещин в наружных стенах δ_{\max} , допустимое значение которого $[\delta_{\max}]$ соответствует значениям $[\Delta l_{\text{п}}]_{\text{н}}$, т.е. полному деформационному ресурсу. Так как в процессе первичной и последующих подработок в зданиях нарастают структурные деформации и поэтому они постепенно утрачивают свой деформационный ресурс, то перед очередной подработкой состояние зданий характеризуется остаточным деформационным ресурсом, которому соответствуют допустимые показатели суммарных деформаций $[\Delta l_{\text{п}}]$, определяемые по формуле:

$$[\Delta l_{\text{п}}] = [\Delta l_{\text{п}}]_{\text{н}} k_{\text{р.п}}, \quad (5)$$

где $k_{\text{р.п}}$ – коэффициент остаточного деформационного ресурса.

Расчетная схема для определения коэффициента остаточного деформационного ресурса одноэтажных производственных зданий (рис. 3) составлена с учетом реализации фактора их приспособления к деформациям земной поверхности при первичной подработке, учитываемой уравнениями взаимосвязи.

Если в результате предыдущих подработок в здании образовались трещины максимальной ширины раскрытия $\delta_{\max, \phi}$ (участок графика OC_1), то при повторной подработке эти трещины будут увеличиваться и могут достигнуть допустимого значения $[\delta_{\max}]$ (участок графика C_1B_1). Выражая абсциссы точек C_1 и B_1 через расчетные показатели суммарных деформаций, характеризующие деформационный ресурс здания, получим $OC_1 = \Delta l_{\text{п.ф}} = \Delta l_{\text{п}}(\delta_{\max, \phi})$ и

$OB_1 = [\Delta I_{п.н}] = \Delta I_{п.}([\delta_{\max}])$, разность которых представляет собой остаточный деформационный ресурс $[\Delta I_{п.}] = OB_1 - OC_1 = \Delta I_{п.}([\delta_{\max}]) - \Delta I_{п.}(\delta_{\max,ф})$.

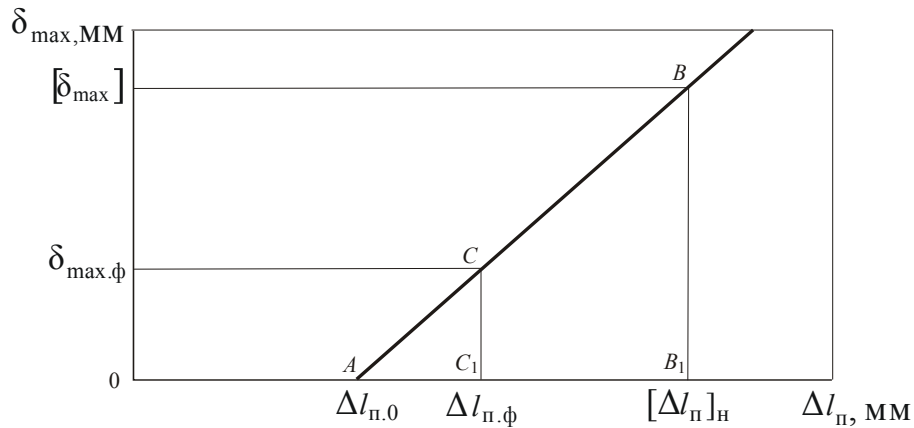


Рис. 3. Расчетная схема для определения коэффициента остаточного деформационного ресурса производственных зданий

Коэффициент остаточного деформационного ресурса зданий перед очередной подработкой определяется отношением остаточного деформационного ресурса к нормативному (с учетом фактора приспособления при первичной подработке) по формуле:

$$k_{p.п} = \frac{\Delta I_{п.}([\delta_{\max}]) - \Delta I_{п.}(\delta_{\max,ф})}{\Delta I_{п.}([\delta_{\max}]) - \Delta I_{п.}(0)}, \quad (6)$$

где $\Delta I_{п.}(0)$ – расчетный показатель суммарных деформаций $\Delta I_{п.0}$, соответствующий $\delta_{\max}=0$ (отрезок OA на рис. 3).

Функции $\Delta I_{п.}(\delta_{\max})$ вычисляются с использованием уравнений взаимосвязи для каркасных зданий и для зданий с неполным каркасом и бескаркасных [8].

Для практических расчетов допустимые значения максимального раскрытия трещин $[\delta_{\max}]$ в наружных стенах одноэтажных производственных зданий разделены на семь степеней деформаций (табл. 3).

Для степеней деформаций одноэтажных производственных зданий по формуле (6) определены коэффициенты остаточного деформационного ресурса, усредненные значения которых для каркасных, с неполным каркасом и бескаркасных зданий высотой от 6 до 18 м приведены в табл. 4.

Степень деформаций подрабатываемых зданий определяется по результатам обследования с учетом величин максимального раскрытия трещин, характерных для предстоящей подработки: растяжения и кривизны выпуклости или сжатия и кривизны вогнутости.

Табл. 3. Степени деформаций одноэтажных производственных зданий в зависимости от максимального раскрытия трещин в наружных стенах

Степень деформаций здания	Максимальное раскрытие трещин, мм при разряде здания				
	1	2	3	4	5
I	0,0–0,5	0,0–1,0	0,0–1,0	0,0–1,5	0,0–2,5
II	0,6–1,0	1,1–2,0	1,1–2,5	1,6–3,5	2,6–5,0
III	1,1–1,5	2,1–3,0	2,6–4,0	3,6–5,5	5,1–9,0
IV	1,6–2,0	3,1–4,0	4,1–5,5	5,6–7,5	9,1–13,0
V	2,1–2,5	4,1–5,0	5,6–7,0	7,6–10,0	13,1–17,0
VI	2,6–3,0	5,1–6,0	7,1–8,5	10,1–12,5	17,1–21,0
VII	3,1–3,5	6,1–7,0	8,6–10,0	12,6–15,0	21,1–25,0

Табл. 4. Коэффициенты остаточного деформационного ресурса одноэтажных производственных зданий $k_{р.п}$

Значения $k_{р.п}$ при степени деформаций здания						
I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0,90	0,75	0,60	0,46	0,30	0,15

Таким образом, для оценки технического состояния зданий перед подработкой предложен новый универсальный показатель – остаточный деформационный ресурс, функционально связанный с обобщенным деформационным критерием максимального раскрытия трещин в наружных стенах.

Выводы

Разработана методика оценки технического состояния подрабатываемых зданий с использованием нового универсального показателя – остаточного деформационного ресурса и определены коэффициенты остаточного деформационного ресурса жилых, общественных и одноэтажных производственных зданий в зависимости от степени их деформаций перед подработкой.

Библиографический список

1. Решетов Г. А. Исследование влияния деформирующихся оснований на основные конструкции гражданских зданий и предельные условия их эксплуатации // Сдвигание горных пород. – Л.: ВНИМИ, 1972. – Сб. LXXXVI. – С. 75–84.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях: Утв. Минуглепром СССР 29.12.79. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях: Утв. Госгортехнадзором РФ 16.06.98. – СПб., 1998. – 290 с.
4. Рекомендации по выбору комплекса строительных и горных мер защиты подрабатываемых населенных пунктов и промышленных предприятий / Донецкий ПромстройНИИпроект, ВНИМИ. – Донецк: ПСНИИП, 1986. – 244 с.
5. Защита и подработка зданий и сооружений / Шагалов С. Е., Муллер Р. А. и др. – М.: Недра, 1974. – 256 с.
6. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001 – 2003. Введ. 01.01.2004. – К., 2004.
7. Блинникова Е. В. Допустимые условия подработки зданий // Уголь Украины. – 2006. – № 7. – С. 43–45.
8. Проект «Розробка методу визначення залишкового деформаційного ресурсу будівель та споруд, що експлуатуються за складних гірничо-геологічних умов, з використанням узагальнених деформаційних критеріїв технічного стану»: Звіт про НДР (заключ.) / УкрНДМІ; Керівник А. В. Анциферов. – № ДР 0106U006738. – Донецьк, 2006.

© Блинникова Е. В., 2008.