

УДК 622.834

## ПРИМЕНЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Бугаёва Н. А.**

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*Описано методіку застосування російського нормативного документа для прогнозу зрушень і деформацій земної поверхні на ділянках мульди зрушення, здійснений розрахунок зрушення і деформацій за методикою діючого українського нормативного документа, а також за запропонованою автором методикою. Виконано докладне зіставлення зазначених трьох методик.*

*A technique for the use of the Russian instrument for the prediction of displacement and deformation of the earth's surface in areas of the basin subsidence performed the calculation of displacement and strain by the method of current Ukrainian regulations, and also the author of the proposed method. The detailed comparison of the three methods.*

Обеспечение устойчивости сооружений поверхности при выемке угля подземным способом является важной задачей, решение которой позволяет поддерживать нормальное функционирование обрабатываемых объектов и сохранение их эксплуатационной способности.

Известно, что очистные работы на угольных шахтах сопровождаются сдвигами массива горных пород и земной поверхности. Характер сдвижений горного массива при этом существенно зависит от глубины разработки, угла падения и мощности пласта, а также физико-механических свойств и мощности обрабатываемых породных слоев.

Существуют методики прогноза влияния подземных разработок на здания и сооружения, по которым выполняется расчет сдвижений и деформаций. Данные методики предусматривают определение распределений сдвижений и деформаций на основании табулированных значений функций единичных кривых. Однако инструментальные наблюдения свидетельствуют о том, что реальное распределение сдвижений и деформаций отклоняется от типовой кривой в виде случайного разброса с определенным интервалом. Введение коэффициента перегрузки не повышает достоверность прогноза, поскольку он не указывает величину доверительного интервала разброса и закона его распределения. В связи с этим существует необходимость более детального изучения распределения указанного разброса, учет которого позволит повысить надежность прогноза и безопасность эксплуатации наземных объектов в результате их подработки.

Вопросами вариации фактических сдвижений и деформаций земной поверхности в свое время занимался ряд авторов [1-4], которые использовали механизм дискретности в качестве гипотезы, объясняющей разброс величин сдвижений и деформаций. Однако авторами не была дана количественная оценка размера разброса сдвижений и деформаций и закона его распределения.

Попытка учесть естественный разброс фактических сдвижений и деформаций земной поверхности на участках мульды сдвижения была предложена в российском нормативном документе [5]. Однако указанная попытка имеет существенные недостатки.

В данном документе предлагается для решения задач по разработке мер охраны подрабатываемых объектов использовать расчетные величины сдвижений и деформаций земной поверхности, определяемые с учетом ошибок положения зоны сдвижения на местности  $\Delta L$  и коэффициентов перегрузки.

Вначале по описанной методике в районе объекта выбираются три точки зоны и определяются расчетные сдвижения и деформации в этих точках. Положение точек 1-3 находится, исходя из ошибок положения зоны сдвижения на местности  $\Delta L$ , определяемых по формуле:  $\Delta L = 0,10H_1$ , но не менее 10 м; где  $H_1$  – средняя глубина залегания пласта (рис. 1) [5]. Под объектом прини-

маются наибольшие расчетные значения сдвижений и деформаций, получаемые в одной из выбранных трех точек.

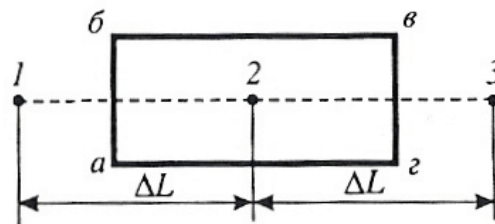


Рис. 1. Схема к определению расчетных деформаций в основании объекта *абвz* [5]

Рассмотрим пример использования данной методики при расчете наклонов для сосредоточенного объекта, который можно принять за точку на мульде сдвижения – телемачты, размером основания которой можно пренебречь по сравнению с размером мульды.

На рисунке 2 а показано, что телемачта расположена на расстоянии  $-0,4z$  от длины полумульды (где  $z$  – безразмерная координата вдоль главного сечения полумульды, в долях полумульды).

По обе стороны от центра телемачты по методике, описанной в [5], откладывается расстояние  $\Delta L$ , которое занимает положение от  $-0,25z$  до  $-0,55z$  от длины полумульды. Максимальная величина расчетных наклонов в данном случае наблюдается на расстоянии  $0,5z$  от длины полумульды и составляют  $-11 \times 10^{-3}$ . Таким образом, следуя указаниям методики над центром объекта необходимо принимать максимальное значение наклона  $-11 \times 10^{-3}$ , даже при том, что в центральной точке телемачты наклоны составляют  $-9,4 \times 10^{-3}$ .

На рисунке 2 б телемачта расположена в центре мульды сдвижения, то есть в точке, где расчетные значения наклонов равны нулю.

В таком случае на оси центра телемачты появляется две точки максимальных значений наклонов (отрицательное и положительное). При этом переход от отрицательного значения к положительному происходит скачкообразно, то есть наклон теле-

мачты при её подработке может быть в обе стороны одновременно.

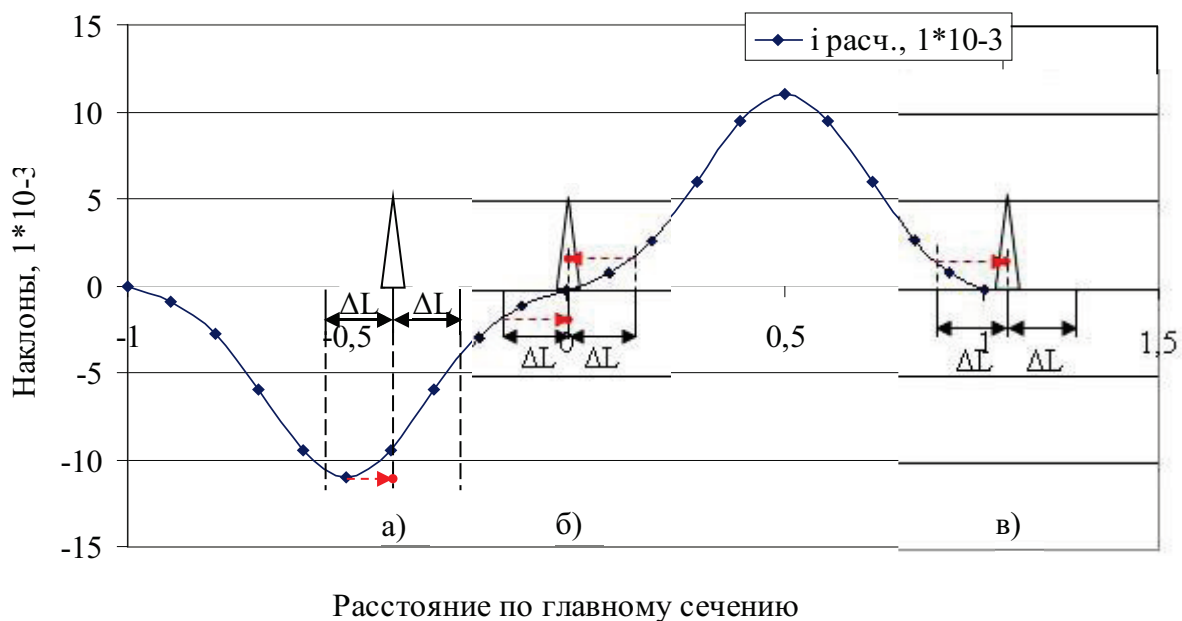


Рис. 2. Пример использования методики, описанной в [5], для телемачты, расположенной в средней части полумульды (а); в центре мульды сдвижения (б); за границей мульды сдвижения (в)

На рисунке 2 в показан третий пример, на котором видно, что телемачта расположена за пределами расчетной мульды сдвижения, но при накладывании величины  $\Delta L$ , левая точка по методике попадает в зону подработки.

Можно предположить, что в таком случае над центром объекта принимаются максимальные значения наклонов, наблюдаемые для левой точки зоны.

Для длинных (вытянутых) объектов (например, железные дороги) расчеты ожидаемых сдвижений и деформаций выполняются аналогично для характерных точек объекта. В данном случае под характерными точками, скорее всего, предлагаются места расположения стрелочных переводов для ж/д, стыков секций для трубопроводов и т.п., которые, как и в предыдущем случае, можно рассматривать как точку на сечении мульды сдвижения.

В случае подработки здания длиной 10 м возникает неопределенность при выборе точки в пределах здания с максимальными сдвигами и деформациями. То есть неясен критерий перехода точечного объекта в вытянутый, размером которого нельзя пренебречь по сравнению с длиной мульды сдвига.

Подчеркнем, что возникающие противоречия и неясности нельзя прояснить, поскольку не существует официальных открытых публикаций в которых обоснована данная методика и параметр  $0,10H_1$ .

Автором выполнены исследования, которые позволили установить доверительные интервалы и законы распределения сдвигов и деформаций по длине мульды [6-8]. С учетом этих закономерностей предлагается модифицировать существующую нормативную методику, изложенную, в «Правилах подработки...» [9]. Принимаем эту методику за основу, поскольку она построена на представительном объеме экспериментальных данных, и доказала свою надежность в практике многолетнего использования. В указанной методике используется коэффициент перегрузки при определении расчетных сдвигов и деформаций земной поверхности, который не учитывает их возможный разброс. В связи с этим возникает необходимость дальнейшего совершенствования существующей нормативной методики.

На рисунках 3-5 показаны графики ожидаемых и расчетных оседаний, наклонов и кривизны земной поверхности в главном сечении полумульды сдвига, рассчитанные по «Правилам подработки...» [9] и доверительные интервалы сдвигов и деформаций по предлагаемой автором методике [6-8]. При этом величина максимального разброса для оседаний составляет 32 %, для наклонов 55 %, а для кривизны 118 % в средней части мульды. Причем на границе мульды сдвигов все показатели составляют примерно треть от максимальных, наблюдаемых в центре мульды.

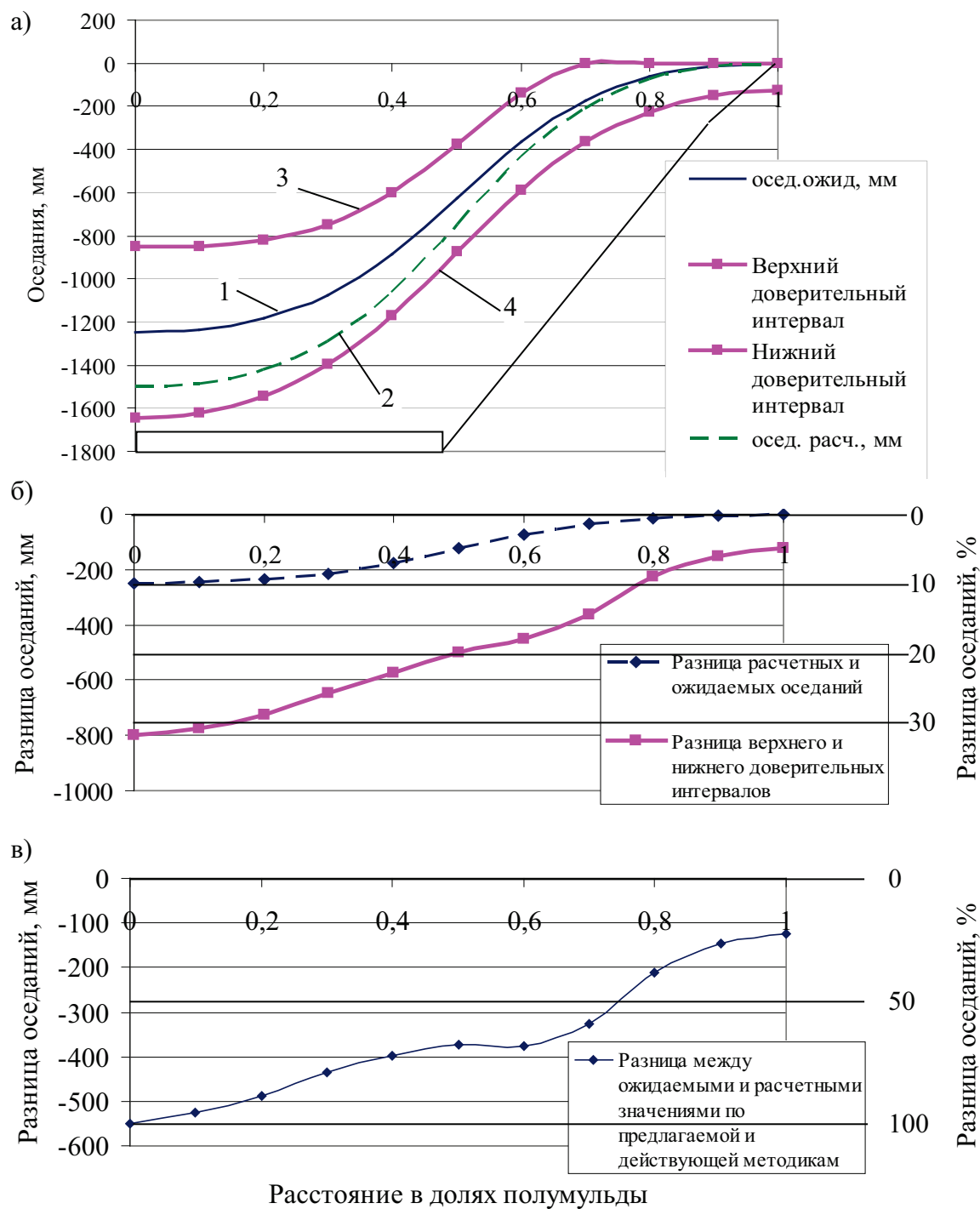


Рис. 3. График значений оседаний, рассчитанных по действующей и предлагаемой методикам

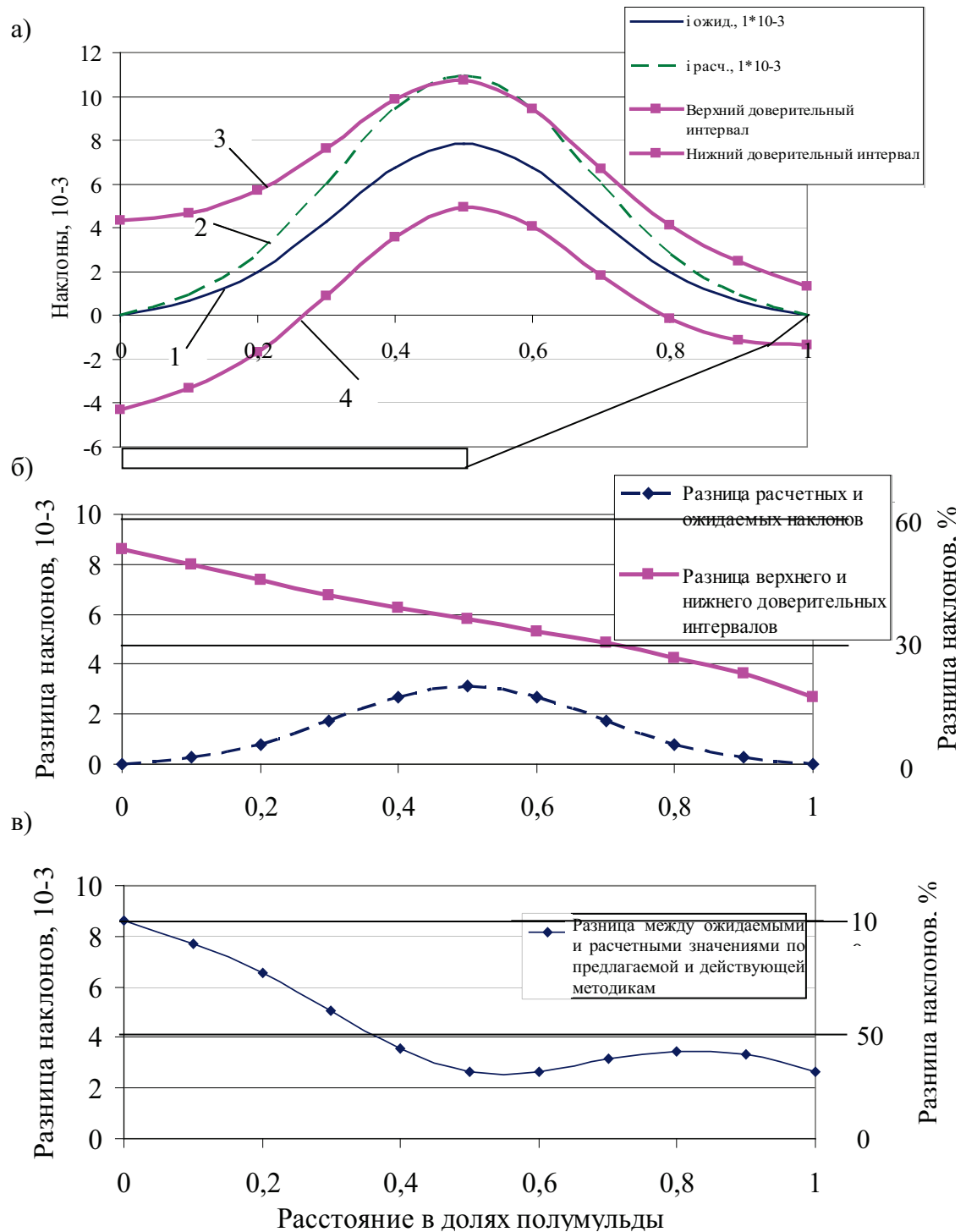


Рис. 4. Графік значень нахлонів, розрахованих по дійсній і пропонуваній автором методикам

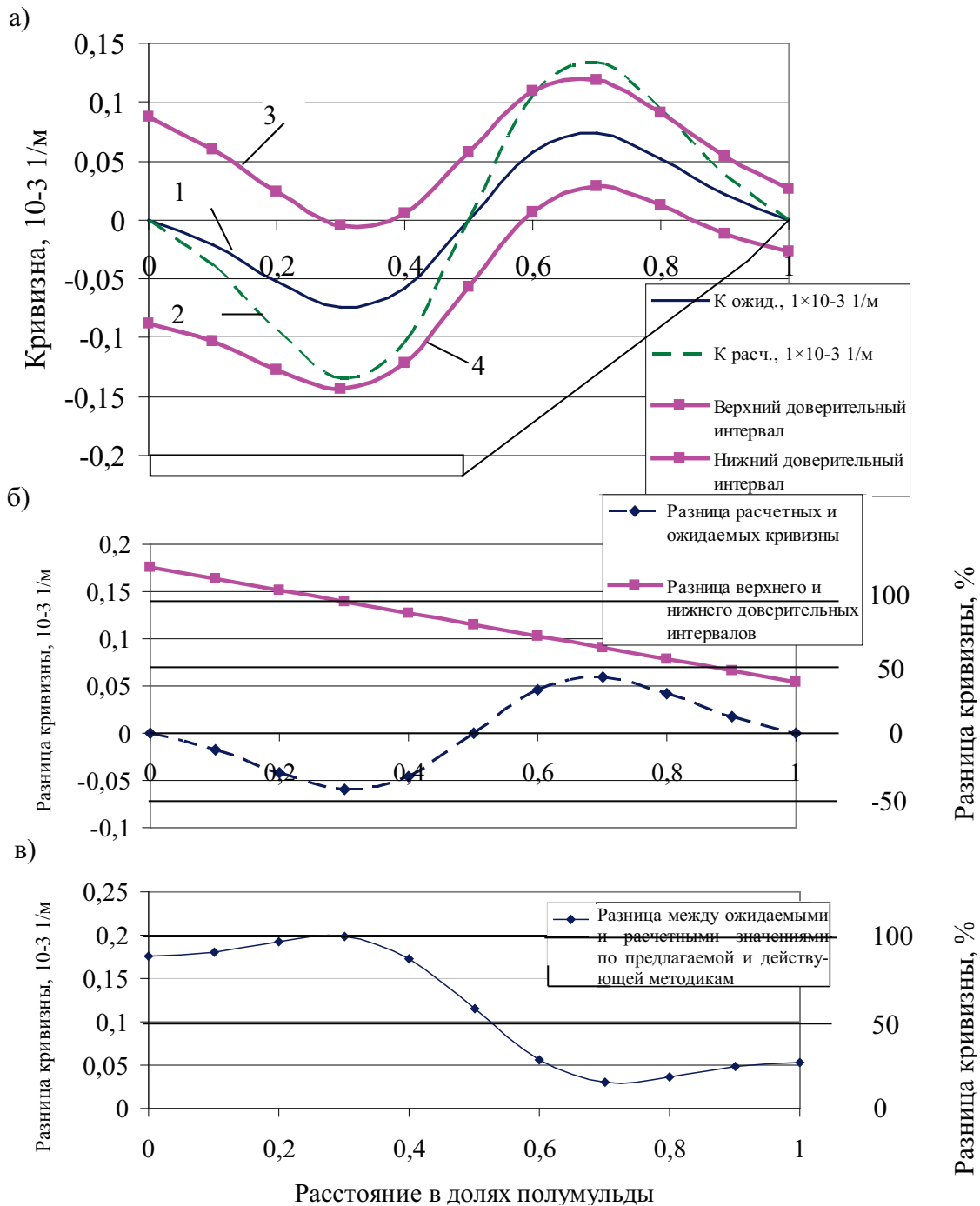


Рис. 5. График значений кривизны, рассчитанных по действующей и предлагаемой методикам

При выполнении математического моделирования автором были приняты следующие условия подработки: мощность горизонтально залегающего угольного пласта составляет около 1,7 м,



породы средней обрушаемости. Глубина разработки 210 м, длина лавы 290 м. Породы представлены перемежающимися слоями алевролитов и песчаников средней прочности. Средняя мощность слоев 10-15 м, мощность наносов 60 м. Способ управления кровлей осуществляется путем её полного обрушения. Угольный пласт обрабатывается по столбовой системе разработки, скорость подвигания лавы 100-150 м/мес. Марка угля К. Модуль деформации принимается 0,001-15 ГПа, коэффициент Пуассона 0,1-0,5, угол внутреннего трения составляет 10-50°, сцепление – 0,001-15 МПа. Плотность пород 2500 кг/м<sup>3</sup>, объемный вес – 0,025 МН/м<sup>3</sup>. Физико-механические свойства горных пород при этом обоснованы переходом от образца к массиву [10].

Выполняется подробное сопоставление предложенных границ допустимых сдвижений и деформаций с допустимыми сдвигами и деформациями, установленными «Правилами подработки...» [9].

На рисунке 3 а представлены оседания земной поверхности. Видно, что максимальные ожидаемые оседания (кривая 1) наблюдаются в центре мульды сдвижения и составляют -1247 мм, расчетные согласно «Правилам подработки...» (кривая 2) при этом равны -1497 мм. На границе мульды сдвижения ожидаемые и расчетные оседания сводятся к нулю. По предлагаемой методике на ожидаемые оседания накладывались доверительные интервалы возможных оседаний (кривые 3, 4). Таким образом, возможные оседания в центре мульды сдвижения могут принимать значения от -1647 до -848 мм, а на границе мульды сдвижения этот диапазон уменьшается и может быть от -124 до 0 мм. Как видно, на границе мульды сдвижения присутствует разброс возможных оседаний земной поверхности.

На рисунке 3б показан график разницы оседаний земной поверхности. На этом графике пунктирной линией продемонстрирована разница расчетных и ожидаемых оседаний, полученных по методике, описанной в «Правилах подработки...» [9]. В центральной части мульды данный разброс составляет 249 мм, что в процентном соотношении равно 10 %, а на краевой части 0 мм, что соответствует 0 %. Сплошной линией показана разница значений оседаний между верхним и нижним доверительным интервалом. В

данном случае в центре мульды разброс равен 798 мм (32 %), на границе мульды 124 мм (5 %).

На рис. 3 в представлен окончательный график разницы оседаний между методикой, предложенной в «Правилах подработки...» [9] и автором. По рисунку видно, что поправка оседаний максимальна в центральной части мульды сдвижения и равна 549 мм или 100 % по отношению к максимальной величине поправки. На границе мульды эта поправка уменьшается до значения 124 мм или 23 %.

То же самое наблюдается для наклонов и кривизны (рис. 4, 5). В случае наклонов поправка в центре мульды равна  $8,6 \times 10^{-3}$  (100 %), на краевой части мульды  $2,7 \times 10^{-3}$  (31 %), а для кривизны данные поправки составляют  $0,18 \times 10^{-3}$  1/м (90 %) в центральной части мульды сдвижений и  $0,05 \times 10^{-3}$  1/м (25 %) на границе мульды. Для кривизны максимальная поправка наблюдается на расстоянии  $0,3z$  (где  $z$  – безразмерная координата вдоль главного сечения полумульды, в долях полумульды) от длины полумульды и составляет  $0,2 \times 10^{-3}$  1/м (100 %).

По сути, положение точки перехода показателя сдвижения или деформации через нулевое значение не является однозначным, а располагается в каком-то диапазоне имеющем определенный доверительный интервал. Данное высказывание объясняет ненулевые значения наклонов и кривизны по предлагаемой методике в граничной точке мульды и в точке максимального оседания.

При определении доверительных интервалов оседаний земной поверхности необходимо учесть естественное физическое ограничение, заключающееся в том, что оседания не могут превысить вынимаемой мощности пласта. В среднем максимальные оседания не превышают  $0,85m$  (где  $m$  – вынимаемая мощность угольного пласта, м), однако в реальности возникают ситуации, когда оседания равны вынимаемой мощности. В частности вероятность этого увеличивается с увеличением скорости подвигания лавы, когда процесс полного обрушения приобретает черты плавного оседания кровли [11]. Поэтому в случае, когда расчетные оседания по предлагаемой методике превышают вынимаемую мощность пласта, оседания принимают равными вынимаемой мощности (рис. 6).

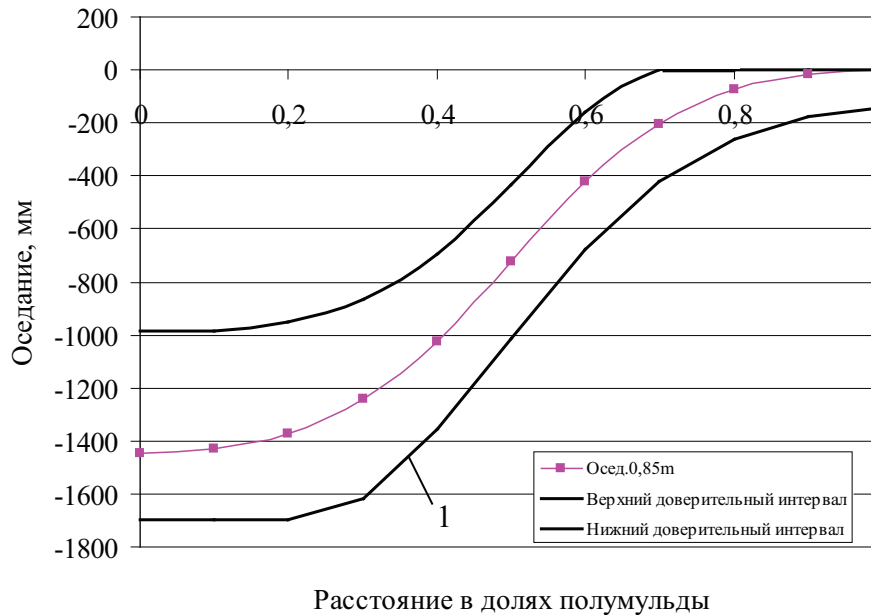


Рис. 6. График распределения доверительных интервалов разброса оседаний

Подчеркнем, что речь идет об определении доверительных интервалов разброса оседаний. Другими словами вероятность того, что мульда займет положение 1, практически равна нулю. К этой границе могут приближаться лишь отдельные точки мульды и то с очень небольшой вероятностью.

Таким образом, поправка в величину ожидаемых оседаний, наклонов и кривизны, разработанная автором статьи обеспечивает повышение надежности определения расчетных оседаний и деформаций земной поверхности при ее подработке длинными очистными забоями, что позволяет определять меры охраны сооружений и природных объектов за счет учета двухстороннего возможного отклонения оседаний и деформаций от ожидаемого уровня и характера распределения их по длине полумульды.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Земисев В. Н. Расчеты деформаций горного массива / В. Н. Земисев. — М. : Недра, 1973. — 144 с.

2. Медянцев А. Н. Учет погрешностей рассчитываемых сдвижений и деформаций земной поверхности над горными выработками с помощью коэффициентов перегрузки / А. Н. Медянцев, Ю. В. Посыльный // Маркшейдерское дело и геодезия. Межвузовский сборник. — Л. — 1978. — Вып. 5. — С. 10—14.
3. Петухов И. М. Защитные пласты / И. М. Петухов, А. М. Линьков, И. А. Фельдман [и др.]. — Л.: Недра, 1972. — 424 с.
4. Посыльный Ю. В. Погрешности определения граничных величин сдвижений и деформаций земной поверхности / Ю. В. Посыльный // Маркшейдерское дело и геодезия. Межвузовский сборник. — Л. — 1978. — Вып. 5. — С. 26—30.
5. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. — С.-Петербург, 1998.
6. Бугаёва Н. А. Особенности распределение стохастических отклонений оседаний земной поверхности при её подработке одиночной лавой / Н. А. Бугаёва, В. В. Назимко // Проблеми гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. — Донецьк. — 2008. — Вип. 16. — С. 194—237.
7. Бугаёва Н. А. Определение параметров деформаций земной поверхности по стохастическим мульдам оседания / Н. А. Бугаёва, Е. В. Яремчук, В. В. Назимко // Проблеми гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. — Донецьк. — 2009. — Вип. 17. — С. 192—225.
8. Бугаёва Н. А. Установление особенностей распределения отклонений оседаний земной поверхности при выполнении натурных измерений / Н. А. Бугаёва, Н. Н. Грищенко, И. В. Назимко, А. И. Прокопенко, Д. Н. Сотников, С. М. Яковенко, А. В. Нечипорук, В. В. Назимко // Проблеми гірського тиску / Донец. нац. техн. ун-т. — Донецьк. — 2010. — Вип. 18. — С. 38—56.
9. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом : ГСТУ 101.00159226.001 – 2003 : Введ. 01.01.2004. — К, 2004. — 128 с.
10. Бугаёва Н. А. Обоснование методики учета стохастической неопределенности при переходе от свойств образца к свойствам массива / Н. А. Бугаёва // Проблеми гірського тиску / До-

нец. нац. техн. ун-т. — Донецьк. — 2011. — Вип. 19. — С. 71—87.

11. Назимко И. В. Исследование влияние скорости подвигания очистного забоя на характер деформирования покрывающих пород / И. В. Назимко // Вісник КТУ. — Кривий Ріг. — 2006. — Вип. 5(15). — С. 41 — 45.