УДК 622.1

А.В. Анциферов, Н.Н. Грищенков, Е.В. Блинникова

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОХРАНЫ ТРУБОПРОВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Рассмотрено влияние нарастания деформаций земной поверхности над подземным трубопроводом в зависимости от различных вариантов его расположения (поперечного, продольного и диагонального). Для каждого варианта предложена соответствующая методика определения момента достижения критических деформаций. Для поперечного расположения трубопровода (перпендикулярно к подвиганию лавы) суть методики заключается в том, что для расчетных точек, расположенных над осью трубопровода, производится расчет деформаций земной поверхности, а затем с помощью логистической функции выполняется оценка нарастания деформаций в ходе процесса сдвижения. По экспертным оценкам устанавливается пороговое значение деформаций, начиная с которого деформации становятся критически угрожающими, и требуется принятие мер защиты трубопровода. Момент достижения критических деформаций определяется с помощью Logit-функции, которая является инверсией логистической функции. При продольном расположении трубопровода фронт знакопеременных деформаций растяжения-сжатия проходит над всеми расчетными точками, поэтому этот вариант требует расчетов деформаций в динамике процесса сдвижения. Такие расчеты выполняются через заданный шаг подвигания забоя лавы (или интервал времени работы лавы). Общее количество подобных расчетов достигает нескольких десятков. В каждом расчете для всех точек определяется момент достижения критических деформаций. Для автоматизации расчетов деформаций земной поверхности, обработки их результатов и графических построений разработано программное обеспечение для персональных компьютеров.

Ключевые слова: деформация земной поверхности, процесс сдвижения, трубопровод, отработка лавы, критические деформации.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-82-91

Подземная очистная выемка угольных пластов при управлении кровлей сплошным обрушением приводит к сдвижениям и деформациям земной поверхности, что, в свою очередь, может нанести значительный ущерб объектам социальной и производственной инфраструктуры, расположенным на подрабатываемой территории. Так, при подработке подземных трубопроводов в зонах повышенных деформаций растяжения имели место случаи повреждения стенок, трещин и разрывов труб, а в зонах повышенных деформаций сжатия — случаи поперечного перемещения труб в траншее, их смятия вдоль продольной оси. В связи с этим подработка подземных трубопроводных коммуникаций обязательно должна выполняться по специальным проектам подработки, разраба-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 11. С. 82–91.
© А.В. Анциферов, Н.Н. Грищенков, Е.В. Блинникова. 2017.

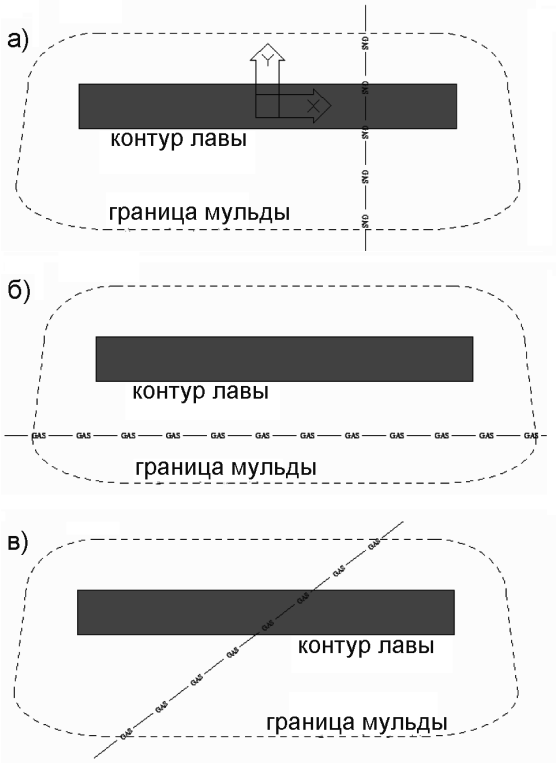

Рис. 1. Различное расположение трубопровода в мульде сдвижения

тываемым для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий.

В проектах подработки выполняется расчет деформаций земной поверхности на участке расположения подземного трубопровода. Из сравнения расчетных и допустимых показателей деформаций определяется необходимость принятия мер защиты трубопровода (вскрытие траншеи трубопровода, установка компенсаторов и др.).

Длительное нахождение трубы в засыпанной грунтом траншее приводит к тому, что коэффициент сцепления трубы с грунтом постоянно возрастает, на плотных грунтах приближаясь к единице, т.е. труба подвергается практически тем же деформациям, что и земная поверхность. Одной из наиболее распространенных и простых мер защиты является вскрытие траншеи и отрывка трубы. Выемка грунта означает снятие деформаций, воздействующих на трубопровод. По условиям безопасности через непродолжительное время должна быть произведена обратная засыпка траншеи грунтом, который, слеживаясь со временем, опять увеличит сцепление с трубой. Поэтому исключительное значение приобретает определение момента достижения критических деформаций земной поверхности, когда необходимо принятие мер защиты.

Ситуация осложняется еще и тем, что существующая методика прогноза деформаций земной поверхности [1] создана в расчете на момент окончания процесса сдвижения. Однако имеются факты, свидетельствующие о том, что в процессе сдвижения на отдельных участках деформации могут превышать допустимые значения. В дальнейшем, по

ходу подвигания лавы и развития процесса сдвижения, эти деформации могут уменьшаться и даже менять знак, приходя к окончанию процесса сдвижения к допустимым значениям. Это говорит о том, что существующая методика не дает полного прогноза деформаций земной поверхности в динамике процесса сдвижения и не гарантирует подрабатываемые подземные трубопроводы от серьезных повреждений. Поэтому одними из наиболее актуальных задач маркшейдерского обеспечения подземных трубопроводных коммуникаций на подрабатываемых территориях являются локализация участков, на которых в процессе сдвижения деформации земной поверхности могут превысить установленные допуски, и определение момента достижения критических деформаций, когда необходимо принимать меры защиты трубопроводов.

Для создания методики локализации участков опасных деформаций необходимо проанализировать влияние различной конфигурации расположения трубопровода в мульде сдвижения. На рис. 1 приведены примеры поперечного (*а*), продольного (*б*) и диагонального (*в*) расположения трубопровода по отношению к направлению движения лавы.

В случае поперечного расположения трубопровода по отношению к направлению движения лавы (рис. 1, *а*) имеет место наиболее простая ситуация с нарастанием деформаций в процессе сдвижения. Здесь, во-первых, вал деформаций земной поверхности надвигается на трубопровод практически одновременно по всей длине участка трубопровода, расположенного в мульде сдвижения. И, во-вторых, знакопеременные деформации растяжения-сжатия здесь будут наблюдаться главным образом в направлении, перпендикулярном к продольной оси трубопровода, т.е. в поперечном его сечении. Такое деформационное воздействие скажется на трубопроводе в минимальной степени по двум основным причинам:

• горизонтальные сдвижения трубопровода в сминаемом грунте ограничены габаритами траншеи, в которой он уложен;

• горизонтальные сдвижения земной поверхности могут вызвать некоторый изгиб трубы на локальном участке, но ограниченность этих сдвижений, а, следовательно, и изгибающих напряжений в трубе, не приведет к повреждениям трубы или смятию ее боковых стенок.

В целом, можно заключить, что в процессе сдвижения земной поверхности деформации растяжения-сжатия, происходящие в направлении, перпендикулярном к продольной оси трубопровода, не оказывают на него существенного воздействия. Но деформации растяжения-сжатия, происходящие в направлении продольной оси трубопровода, могут привести к его повреждению. Особенно это касается участков полумульд по восстанию и падению при отработке лавы по простиранию, и участков полумульд по простиранию и со стороны, обратной простиранию, — при отработке лавы по падению или восстанию. Поэтому в случае поперечного расположения трубопровода по отношению к направлению движения лавы основное внимание следует обращать на деформации растяжения-сжатия, перпендикулярные к движению лавы, но происходящие вдоль продольной оси трубопровода на краевых частях мульды сдвижения (полумульдах).

Для случая поперечного расположения трубопровода по отношению к направлению движения лавы локализация участков, на которых в процессе сдвижения деформации земной поверхности могут превысить установленные допуски, автоматически распространяется на весь трубопровод в мульде сдвижения. При этом используется следующая

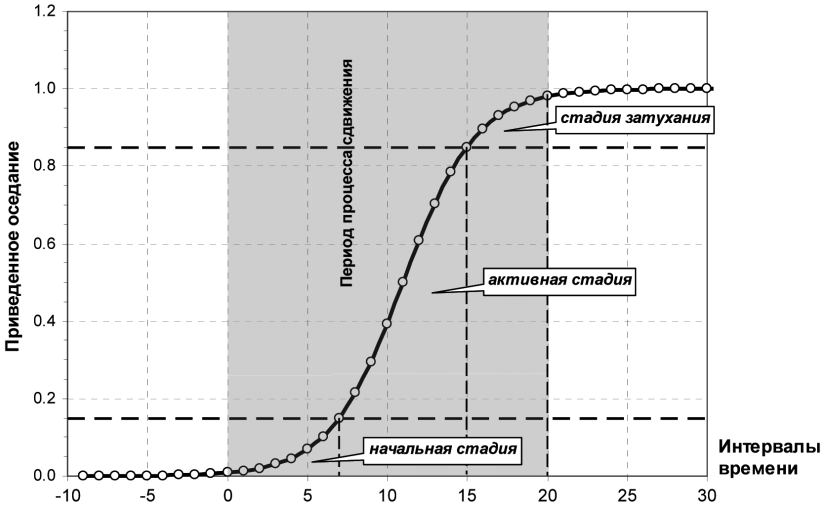

Рис. 2. Прогноз деформаций земной поверхности во времени

методика определения момента достижения критических деформаций:

• вдоль всего участка трубопровода в пределах мульды сдвижения размечаются расчетные точки с интервалом 25—50 м;

• для всех намеченных точек выполняется расчет деформаций земной поверхности;

• для всех точек определяется нарастание деформаций, начиная с момента начала процесса сдвижения для каждой точки;

• фиксируется момент достижения критических деформаций в процессе сдвижения для каждой расчетной точки.

Расчет деформации выполняется с помощью специальной программы «Подработка» (версия 2.1), разработанной в институте РАНИМИ и использующейся при разработке проектов подработки для угольных шахт Донбасса в течение нескольких лет.

Для описания нарастания деформаций в ходе процесса сдвижения используется логистическая функция, которая в простейшем виде может быть описана формулой

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}, \qquad (1)$$

где переменная P — это происходящая во времени абсолютная деформация земной поверхности (оседание, горизонтальные деформации), отнесенная к своему максимальному значению (т.е. нормированная деформация), а переменная t — это время процесса сдвижения. В работе [2] подробно описана процедура прогноза нарастания деформаций во времени (рис. 2).

Определение момента достижения критических деформаций в процессе сдвижения, в свою очередь, требует определения некоторого порогового значения, начиная с которого деформации становятся критически угрожающими, и требуется принятие мер защиты. Определение такого порогового значения не имеет в настоящее время какого-то теоретического обоснования и находится в результате экспертных оценок, сделанных специалистами, эксплуатирующими каждый конкретный трубопровод. Так, например, при подработке в Донбассе магистральных подземных стальных газопроводов диаметром 1440 мм в качестве такого порогового значения было установлено значение деформаций, составляющее 70% от допустимых

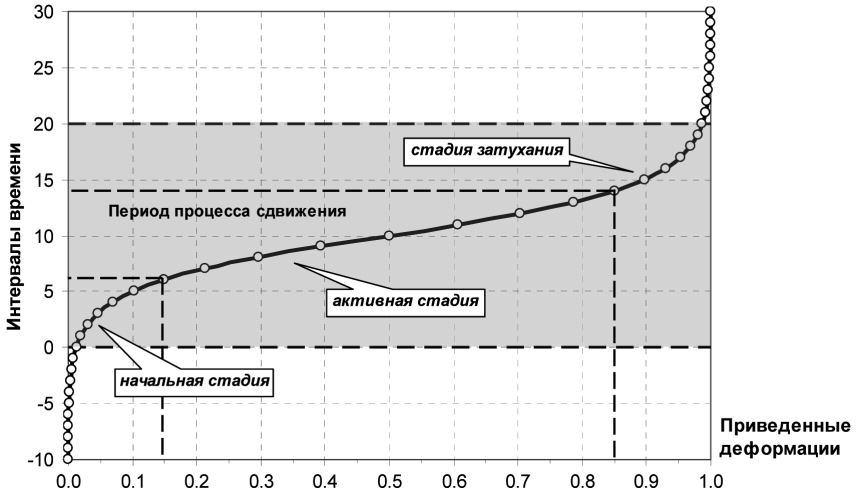

Рис. 3. График зависимости времени процесса сдвижения для возрастающих приведенных деформаций земной поверхности

деформаций для данных трубопроводов в конкретных условиях.

Для определения момента достижения критических деформаций целесообразно использовать Logit-функцию, которая является инверсией логистической функции [3].

$$\mathrm{Logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \log(p) - \log(1-p), \quad (2)$$

где переменная p означает приведенную деформацию (отнесенную к ее максимальному значению), т.е. число в интервале между 0 и 1.

На рис. 3 приведен график времени процесса сдвижения для возрастающих приведенных деформаций земной поверхности.

Реализация выражения (3) в виде соответствующей функции, написанной на языке Visual Basic в среде электронных таблиц Microsoft Excel, позволяет резко упростить расчет времени достижения критических деформаций для каждой точки охраняемого трубопровода, а оперативность такого расчета обеспечивает своевременность принятия необходимых мер его защиты.

Следует отметить, что далеко не во всех расчетных точках деформации земной поверхности достигнут критических значений. Это означает, что в таких точках подработка трубопровода возможна без применения каких-либо мер защиты. Таким образом, можно заключить, что использование Logit-функции в указанном выше контексте позволяет достаточно точно и своевременно локализовать опасные участки подрабатываемого трубопровода.

В случае продольного расположения трубопровода по отношению к направлению движения лавы (рис. 1, *б*) ситуация с нарастанием деформаций в процессе сдвижения существенно усложняется. Здесь вал деформаций земной поверхности последовательно перемещается в процессе сдвижения вдоль продольной оси трубопровода по всей длине его участка, расположенного в мульде сдвижения. Деформации земной поверхности носят знакопеременный характер, растяжение в конкретной расчетной точке после отхода лавы дальше может смениться сжатием и наоборот.

Изложенная выше методика определения момента достижения критических

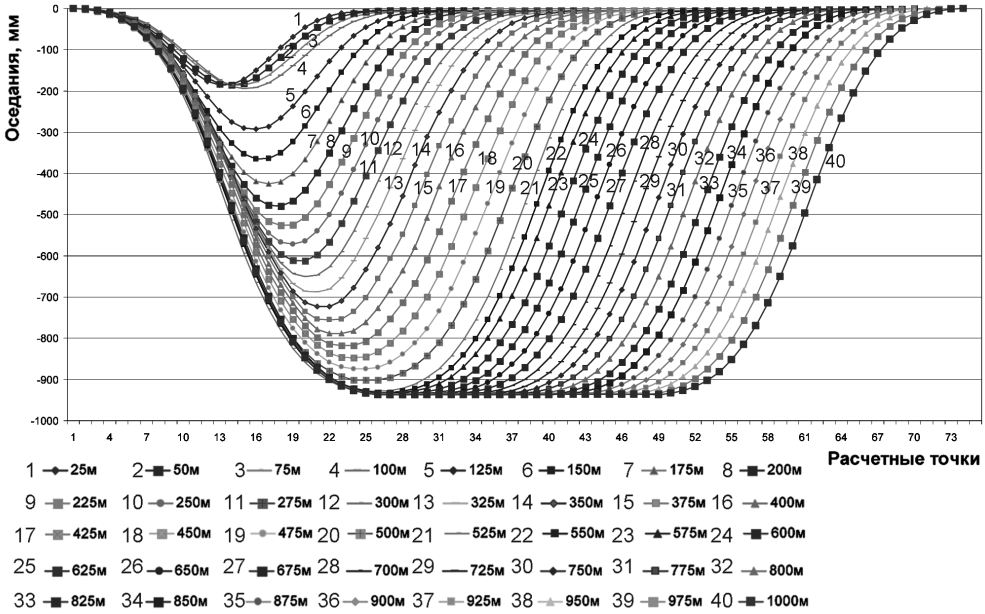

Рис. 4. График оседаний земной поверхности над подрабатываемым магистральным газопроводом в динамике процесса сдвижения

деформаций здесь не годится из-за различия в конфигурации расположения трубопровода по отношению к направлению движения лавы.

Поэтому в данном случае используется следующая методика определения момента достижения критических деформаций:

• вдоль всего участка трубопровода в пределах мульды сдвижения размечаются расчетные точки с интервалом 25—50 м;

• определяется шаг подвигания забоя лавы (или интервал времени подвигания лавы), через который необходимо выполнять расчет деформаций земной поверхности;

• для каждого шага подвигания забоя лавы во всех намеченных точках выполняется расчет деформаций земной поверхности;

• для каждого шага подвигания забоя лавы во всех расчетных точках определяется нарастание деформаций, начиная с момента начала процесса сдвижения для каждой точки;

• для каждого шага подвигания забоя лавы фиксируется момент достижения критических деформаций в процессе сдвижения для каждой расчетной точки.

Шаг подвигания забоя лавы, для которого выполняется расчет деформаций земной поверхности, устанавливается на основании экспертных оценок по взаимному согласованию маркшейдеров шахты, подрабатывающей трубопровод, со специалистами, обеспечивающими безопасную эксплуатацию трубопровода. Производственный опыт показывает, что наиболее распространенное значение этого шага составляет 50—100 м. Число таких расчетов деформаций в динамике процесса сдвижения резко возрастает. Так, например, для лавы длиной 1800 м при шаге подвигания забоя лавы, равном 50 м, число расчетов деформаций будет равно 37. В ряде случаев владельцы трубопроводов настаивают, чтобы с целью гарантирования точности прогноза деформаций в активную стадию процесса сдвижения

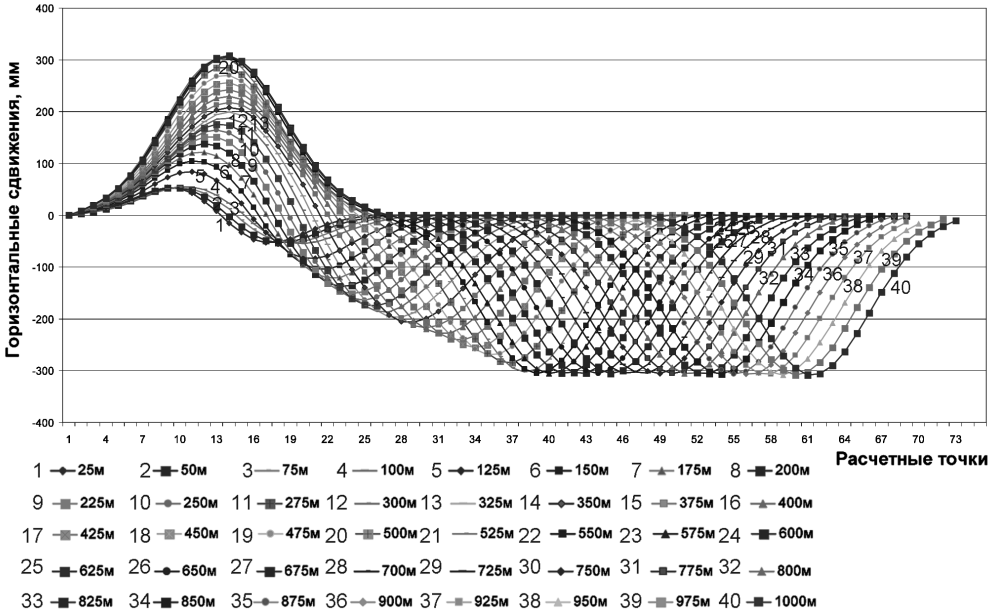

Рис. 5. График горизонтальных сдвижений земной поверхности над подрабатываемым магистральным газопроводом в динамике процесса сдвижения

шаг подвигания лавы был сокращен вдвое. Это еще больше увеличивает число расчетов деформаций. Для каждого расчета необходима подготовка отдельного комплекта исходных данных, в т.ч. с изменившейся длиной лавы, а также построение соответствующих графиков деформаций и расчетов момента достижения критических деформаций на этом шаге для каждой расчетной точки. Трудоемкость таких расчетов деформаций в динамике возрастает примерно на 1—1,5 порядка по сравнению с традиционной методикой.

В качестве примера приведены графики оседаний (рис. 4) и горизонтальных сдвижений (рис. 5), выполненные по результатам расчетов в динамике процесса сдвижения для магистрального газопровода, подрабатываемого лавой одной из угольных шахт Донбасса.

В случае диагонального расположения трубопровода по отношению к направлению движения лавы (рис. 1, *в*) ситуация с нарастанием деформаций в процессе сдвижения является промежуточной по отношению к предыдущим двум вариантам. Если продольная ось трубопровода расположена в плане под углом 90°±10° по отношению к направлению движения лавы, то в этом случае для определения момента достижения критических деформаций можно использовать ту же методику, что и для поперечного расположения трубопровода. Во всех остальных случаях, т.е. при отклонении продольной оси трубопровода от перпендикуляра к направлению движения лавы более чем на 10°, следует пользоваться методикой для продольного расположения трубопровода, т.е. выполнять расчеты деформаций земной поверхности в динамике процесса сдвижения.

В завершение обсуждения результатов проведенного исследования можно сделать ряд следующих выводов.

Во-первых, существующая методика прогноза деформаций земной поверхности явно недостаточна, поскольку не

дает полного прогноза деформаций земной поверхности в динамике процесса сдвижения и не гарантирует подрабатываемые подземные трубопроводы от серьезных повреждений.

Во-вторых, отмечена значительная заинтересованность владельцев трубопроводных коммуникаций в гарантированном поддержании их в эксплуатационном состоянии в период подработки подземными горными работами. Именно жесткая требовательность с их стороны во многом обусловила необходимость определения момента достижения критических деформаций на подрабатываемых участках трубопровода для своевременного принятия необходимых мер защиты, а это, в свою очередь, потребовало проведения расчетов деформаций земной поверхности в динамике процесса сдвижения.

В-третьих, разработанная методика расчета деформаций земной поверхности в динамике процесса сдвижения для защиты подземных трубопроводов показала достаточно высокую надежность и используется на ряде угольных шахт Донбасса.

В-четвертых, высокая трудоемкость расчетов деформаций земной поверхности в динамике процесса сдвижения, а также анализа расчетных деформаций и локализации опасных участков требуют дальнейшей автоматизации процесса компьютерной обработки результатов расчетов и графических построений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003. — [Чинний 2004-01-01]. Офіц. вид. — Київ., 2004. — 128 с.

2. *Грищенков Н. Н.* Обоснование поэтапного применения мер защиты линейных инженерных коммуникаций на подрабатываемых участках // Научные труды ДонНТУ. Серия «Горно-геологическая». — Вып. 16(206). — Донецк, 2012. — С. 3—11.

3. *Функция* Логит [Электронный ресурс] / Machine Learning. — Режим доступа: URL : http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9B%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%82 (дата обращения 10.12.2016).

4. *Гавриленко Ю. Н.* Прогнозирование сдвижений во времени // Уголь Украины. — 2011. — № 6. — С. 46—49.

5. *Чепурная Л. А.*, *Антощенко Н. И.* Обобщенная схема сдвижения земной поверхности до и после образования плоского дна мульды // Сборник научных трудов ДонНТУ. — 2013. — № 40. — С. 46—50.

6. *Назаренко В. А.*, *Стельмашук Е. В.* Исследование развития наклонов поверхности при формировании мульды сдвижения // Розробка родовищ корисних копалин: Наук. вісник НГУ. — 2010. — № 4. — С. 54—57.

7. *Назаренко В. А.*, *Йощенко Н. В.* Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности в мульде сдвижения. — Днепропетровск: НГУ, 2011. — 91 с.

8. *Кулибаба С. Б., Рожко М. Д., Хохлов Б. В.* Характер развития процесса сдвижения земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем // Научные труды УкрНИМИ НАН Украины. — 2010. — № 7. — С. 40—54.

9. *Филатьев М. В.* Влияние степени развития очистных работ на максимальное оседание земной поверхности // Уголь Украины. — 2011. — № 4. — С. 12—16.

10. *Blachowski J.,Cacon S., Milczarek W.* The influence of mining in complicated geological conditions on surface of the ground // International Society for Mine Surveying, XIII International Congress, Budapest, Hungary, 24—28 September. — 2007. — Report 054. — 5 p.

11. *Huang Le-ting, Wang Jin-zhuang*. Study on dynamic surface subsidence and variation laws of the deformation velocity in coalmine // International Society for Mine Surveying, XIII International Congress, Budapest, Hungary, 24—28 September. — 2007. — Report 066. — 5 p.

12. *Bialek J.* English version computer programs for prediction of mining area deformation with time factor taken into consideration // International Society for Mine Surveying, XIII International Congress, Budapest, Hungary, 24—28 September. — 2007. — Report 145. — 6 p.

13. *Huang Le-ting.* Research on laws and computational methods of dynamic surface subsidence deformation // Proceedings XV International ISM Congress 2013, 16—20 September 2013, Aachen. — 2013. — Vol. 2. — pp. 854—862.
14. *Jura J., Niedojadlo Z., Stoch T.* Horizontal displacements in view of a priori and a posteriori modeling // Proceedings XV International ISM Congress 2013, 16—20 September 2013, Aachen. — 2013. — Vol. 2. — pp. 791—804.
15. *Sokoła-Szewioła V., Mielimąka R.* Observed run of vertical displacements of mining ground in the period connected with mining tremor // Proceedings XV International ISM Congress 2013, 16—20 September 2013, Aachen. — 2013. — Vol. 2. — pp. 73—715.
16. *Debella-Gilo M., Kääb A.* Measurement of Surface Displacement and Deformation of Mass Movements Using Least Squares Matching of Repeat High Resolution Satellite and Aerial Images // Remote Sensing. — 2012. — № 4. — pp. 43—67. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Анциферов Андрей Вадимович[1] — доктор технических наук, профессор, директор,
Грищенков Николай Николаевич[1] — доктор технических наук,
профессор, зав. отделом, e-mail: gringm@gmail.com,
Блинникова Елена Владимировна[1] — кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, зам. зав. отделом,
[1] Республиканский академический научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики,
геофизики и маркшейдерского дела Министерства образования
и науки Донецкой Народной Республики, Украина.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 11, pp. 82–91.
UDC 622.1

A.V. Antsiferov, N.N. Grishchenkov, E.V. Blinnikova

SURVEYING SUPPORT OF PROTECTION OF DISTRIBUTION PIPELINES IN THE UNDERMINED AREAS

The purpose of the work is to localize sites where deformations of the earth surface in the process of displacement may exceed specified tolerances, and to define the moment of reaching the critical strain, when it is necessary to take measures to protect pipelines. The paper considers the impact of growth deformations of the ground surface over an underground pipeline according to different variants of its location (transverse, longitudinal and diagonal). For each variant there is proposed the appropriate method of determining the moment of reaching the critical strain. For the transverse location of the pipeline (perpendicular to coalface movement) the essence of the technique is that for calculation points located above the axis of the pipeline are calculated the deformations of the ground surface, and then there is used the logistic function to evaluate the increasing deformations during the process of displacement. According to expert evaluations there is set the threshold for deformations from which deformations become critically threatening, and there is required taking measures to protect the pipeline. The time of reaching the critical strain is determined with using the Logit-function which is the inverse of the logistic function. When the longitudinal arrangement of the pipeline the front of alternating deformations of the extension-compression takes place over all calculation points, so this variant requires calculation of deformations in the dynamics of the process of displacement. These calculations are performed using the specified step of coalface movement (or the time interval of coalface operation). The total number of such calculations reaches a few tens. In every calculation for all the points there is determined the moment of reaching a critical strain. For automation of calculating deformations of the earth surface, processing its results and graphic drawings there have been developed software for personal computers. A technique developed to calculating the deformations of the ground surface in the dynamics of the process of displacement to protect underground pipelines has demonstrated sufficiently high reliability and it is used in a number of coal mines of Donbass.

Key words: deformation of the earth's surface, process of displacement, tubing, working out of the lava, critical deformation.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-82-91

AUTHORS

Antsiferov A.V.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, Director,
Grishchenkov N.N.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Department, e-mail: gringm@gmail.com,
Blinnikova E.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Deputy Head of Department,
[1] Republican Academic Research and Design Institute of Mine Geology,
Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying
of the Ministry of Education and Science of the Donetsk People's Republic,
83004, Donetsk, Ukraine.

REFERENCES

1. *Pravila pidrobki budivel', sporud i prirodnikh ob'єktiv pri vidobuvanni vugillya pidzemnim sposobom: GSTU 101.00159226.001-2003*. (GSTU 101.00159226.001-2003. Rules of undermining buildings, facilities and natural objects in coal mining underground), Київ., 2004, 128 p.

2. Grishchenkov N. N. *Nauchnye trudy DonNTU. Seriya Gorno-geologicheskaya*. 2012, Vyp. 16(206), pp. 3—11.

3. *Funktsiya Logit. Machine Learning*, available at: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A4%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9B%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%82 (accessed 10.12.2016).

4. Gavrilenko Yu. N. *Ugol' Ukrainy*. 2011, no 6, pp. 46—49.

5. Chepurnaya L. A., Antoshchenko N. I. *Sbornik nauchnykh trudov DonNTU*. 2013, no 40, pp. 46—50.

6. Nazarenko V. A., Stel'mashuk E. V. *Rozrobka rodovishch korisnikh kopalin: Nauk. visnik NGU*. 2010, no 4, pp. 54—57.

7. Nazarenko V. A., Yoshchenko N. V. *Zakonomernosti razvitiya maksimal'nykh osedaniy i naklonov poverkhnosti v mul'de sdvizheniya* (Patterns of development of the maximum subsidence and tilt of the surface in the mulde displacement), Dnepropetrovsk, NGU, 2011, 91 p.

8. Kulibaba S. B., Rozhko M. D., Khokhlov B. V. *Nauchnye trudy UkrNIMI NAN Ukrainy*. 2010, no 7, pp. 40—54.

9. Filat'ev M. V. *Ugol' Ukrainy*. 2011, no 4, pp. 12—16.

10. Blachowski J.,Cacon S., Milczarek W. The influence of mining in complicated geological conditions on surface of the ground. *International Society for Mine Surveying, XIII International Congress*, Budapest, Hungary, 24—28 September. 2007. Report 054. 5 p.

11. Huang Le-ting, Wang Jin-zhuang. Study on dynamic surface subsidence and variation laws of the deformation velocity in coalmine. *International Society for Mine Surveying, XIII International Congress*, Budapest, Hungary, 24—28 September. 2007. Report 066. 5 p.

12. Bialek J. English version computer programs for prediction of mining area deformation with time factor taken into consideration. *International Society for Mine Surveying, XIII International Congress*, Budapest, Hungary, 24—28 September. 2007. Report 145. 6 p.

13. Huang Le-ting. Research on laws and computational methods of dynamic surface subsidence deformation. *Proceedings XV International ISM Congress* 2013, 16—20 September 2013, Aachen. 2013. Vol. 2. pp. 854—862.

14. Jura J., Niedojadlo Z., Stoch T. Horizontal displacements in view of a priori and a posteriori modeling. *Proceedings XV International ISM Congress* 2013, 16—20 September 2013, Aachen. 2013. Vol. 2. pp. 791—804.

15. Sokoła-Szewioła V., Mielimąka R. Observed run of vertical displacements of mining ground in the period connected with mining tremor. *Proceedings XV International ISM Congress* 2013, 16—20 September 2013, Aachen. 2013. Vol. 2. pp. 73—715.

16. Debella-Gilo M., Kääb A. Measurement of Surface Displacement and Deformation of Mass Movements Using Least Squares Matching of Repeat High Resolution Satellite and Aerial Images. *Remote Sensing*. 2012, no 4. pp. 43—67.