

УДК 550.837

**С. Ю. ПРИХОДЬКО<sup>а</sup>, М. Р. КАХИАНИ<sup>б</sup>**<sup>а</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», <sup>б</sup> Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия

## **ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ ПОВЕРХНОСТНОГО КОМПЛЕКСА НА ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (НА ПРИМЕРЕ ДОНБАССА И ТКИБУЛИ-ШАОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

**Аннотация.** Предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Донбасса и Ткибули-Шаорского месторождения – сфера высоких рисков и объектов повышенной промышленной опасности, которые обладают большими потенциальными возможностями для создания катастрофы техногенного характера, различных аварий, угрозы людям и окружающей среде. Разнообразие рисков, исходящих от предприятий ТЭК, предопределяет необходимость комплексного подхода для минимизации возможности аварии и катастрофы, а также надобность организации системы риск-менеджмента, нацеленного на решение масштабного комплекса проблем различного характера, в которых экологические риски занимают далеко не последнее место.

**Ключевые слова:** промышленно-природный комплекс, моделирование объектов, теория управления, горные выработки, провалы поверхности.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Подземная разработка угольных месторождений приводит к сдвигениям и деформациям земной поверхности и объектов, попадающих в зону подработки. Объекты наземного комплекса находятся в зонах риска. Для минимизации риска необходимо решение двух задач: оценка риска и управление риском.

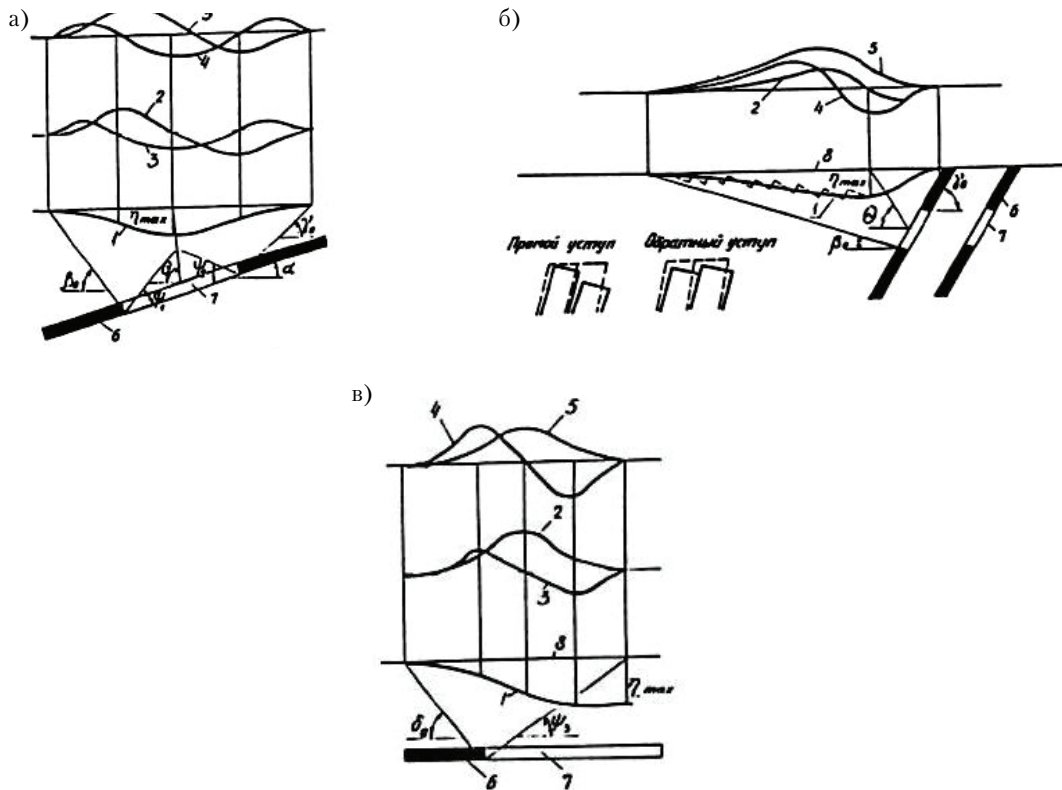
### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Одной из составных частей системы общего мониторинга является геомеханический мониторинг, позволяющий получить данные о состоянии массива горных пород и земной поверхности и использующий результаты маркшейдерских наблюдений. Сдвигения и деформации земной поверхности являются количественной оценкой всех происходящих в массиве геомеханических процессов.

При сдвигении земной поверхности используются показатели, позволяющие прогнозировать и оценивать состояние зданий и сооружений: оседание земной поверхности, радиус кривизны и горизонтальные деформации в основаниях зданий (рис. 1). Натурные наблюдения за сдвигением земной поверхности дают параметры процесса сдвигения и получение фактических данных для обоснованного решения вопросов охраны зданий и сооружений на подрабатываемых территориях.

При изучении характера и измерение параметров сдвигения земной поверхности и толщи горных пород чаще всего используют методы непосредственных измерений перемещений пород. К ним относятся геодезические или маркшейдерские методы – нивелирование для определения оседаний горных пород, т. е. перемещений в вертикальной плоскости и линейные измерения для определения горизонтальных деформаций, т. е. перемещений пород в горизонтальной плоскости.

Для проведения наблюдений оборудуют специальные наблюдательные станции, состоящие из системы реперов, закладываемых в грунт (земную поверхность), в подрабатываемые здания и сооружения, в стенки, в специально пробуриваемые скважины по определенной схеме в пределах предполагаемой области сдвигения. По мере развития горных работ ведут систематические наблюдения перемещений реперов в пространстве и во времени относительно исходных или опорных пунктов,



**Рисунок 1** – Виды сдвижений и деформаций земной поверхности: а) вертикальный разрез вкрест простирания при наклонном залегании угольных пластов; б – то же, при крутом залегании угольных пластов; в – вертикальный разрез по простиранию пластов; 1 – кривые оседаний; 2 – эпюры наклонов; 3 – эпюры кривизны; 4 – эпюры относительных горизонтальных деформаций; 5 – эпюры горизонтальных сдвижений; 6 – пласт; 7 – очистная выработка; 8 – положение земной поверхности до подработки;  $\eta_{\max}$  – максимальное оседание земной поверхности;  $\beta_0, \gamma_0, \delta_0$  – граничные углы сдвижения;  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  – углы полных сдвижений;  $\theta$  – угол максимального оседания;  $\alpha$  – угол падения пласта.

располагаемых заведомо за пределами возможной области сдвижений. Рабочие реперы наземных наблюдательных станций обычно располагают в створах профильных линий с таким расчетом, чтобы обеспечить получение необходимых данных о границах области сдвижения и об основных параметрах процесса сдвижения земной поверхности. Сдвижения и деформации горных пород и земной поверхности могут вызвать повреждения в объектах, изменение гидрогеологического режима поверхностных и грунтовых вод, активизацию оползневых процессов.

Для оценки механической безопасности и возможности дальнейшей эксплуатации жилых и административных зданий, оказавшихся в потенциально опасной зоне подработанных территории, требуется прогноз процесса деформирования грунтового массива и сроков введения мер охраны для каждого из этих зданий. При включении полученной информации в систему ГИС появляется возможность выйти на качественно более высокий уровень сбора и анализа данных о развитии процесса сдвижения. Это позволяет вести постоянный мониторинг состояния земной поверхности и сохранности расположенных на ней зданий и сооружений. Использование геоинформационных систем позволяет довольно быстро и наглядно оценить степень влияния подземных горных разработок на земную поверхность. Результаты наблюдений позволили установить наличие сдвижения земной поверхности, вызванного активизацией геомеханических процессов, а также определить значения величин и скоростей их развития.

Горные предприятия, ведущие отработку запасов под застроенными территориями, не уделяют должного внимания проблеме защиты подрабатываемых сооружений и коммуникаций. Возникают ситуации, когда нарушаются условия безопасной эксплуатации многих объектов застройки городов, а часть зданий, сооружений и коммуникаций имеют аварийное и предаварийное техническое состояние. На рис. 1 показаны виды сдвижений и деформаций земной поверхности.

Объекты поверхности классифицируются по четырем принципам: по назначению; по чувствительности к деформациям основания; по наличию мер защиты от влияния сосредоточенных деформаций земной поверхности; по техническому состоянию.

По назначению объекты поверхности делятся на здания, сооружения, трубопроводы. По чувствительности к деформациям основания здания и сооружения делятся по видам в зависимости от этажности, конструктивной схемы и материала конструкций.

Объекты поверхности по наличию мер защиты делятся на три вида: не имеющие мер защиты; имеющие меры защиты, которые не обеспечивают эксплуатационную пригодность объекта при воздействии сосредоточенных деформаций земной поверхности; имеющие меры защиты, которые обеспечивают эксплуатационную пригодность объекта при воздействии сосредоточенных деформаций земной поверхности.

Ущерб от долговременной подрботки объектов социальной инфраструктуры города оценивается по сумме затрат, обеспечивающих безопасную эксплуатацию зданий, сооружений и коммуникаций, расположенных в зонах влияния сосредоточенных деформаций земной поверхности по формуле:

$$Y = C_3 + \Sigma C_k + C_d, \quad (1)$$

где  $C_3$  – затраты, связанные с обеспечением безопасной эксплуатации зданий и сооружений, расположенных в зонах влияния сосредоточенных деформаций земной поверхности, определяются по формуле:

$$C_3 = C_o K_r + C_n + C_p + C_a, \quad (2)$$

где  $C_o$  – основные затраты на ремонтно-восстановительные работы зданий;  
 $K_r$  – коэффициент учета доли влияния горных работ;  
 $C_n$  – дополнительные затраты на меры защиты зданий с неудовлетворительным техническим состоянием;  
 $C_p$  – дополнительные затраты на меры защиты зданий с предаварийным техническим состоянием;  
 $C_a$  – дополнительные затраты на меры защиты зданий в аварийном техническом состоянии;  
 $\Sigma C_k$  – суммарные затраты, связанные с обеспечением безопасной эксплуатации коммуникаций города, включая: водоводы, канализационные коллекторы, газопроводы, теплосети;

$C_k$  – затраты, связанные с обеспечением безопасной эксплуатации каждого вида подземных трубопроводов, определяемые по формуле:

$$C_k = C_{ук} N n, \quad (3)$$

где  $C_{ук}$  – стоимость замены участка трубопроводов длиной 10 м (определяется по данным эксплуатирующих организаций города);  
 $N$  – количество участков трубопровода на трассах уступов (определяется с учетом ориентации трубопровода, его протяженности и среднего расстояния между уступами);  
 $n$  – количество замен участков трубопровода на трассах уступов за все время его эксплуатации, определяемое по формуле:

$$n = T_3 / T, \quad (4)$$

где  $T_3$  – время с начала подрботки трубопровода;  
 $T$  – среднее время прироста уступа на 5 см на участке подрботки трубопровода;

$C_d$  – затраты, связанные с обеспечением безопасной эксплуатации автомобильных дорог, определяемые по формуле:

$$C_d = C_{уд} N n_1, \quad (5)$$

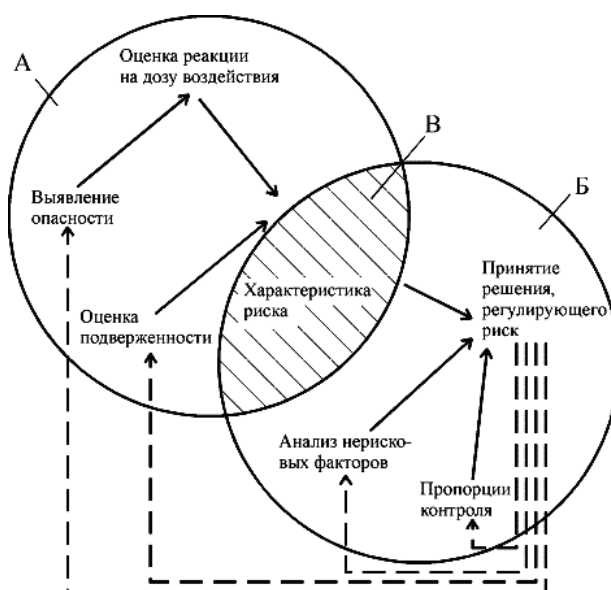
где  $C_{уд}$  – стоимость ремонта участка дороги длиной 10 м (определяется по данным эксплуатирующих организаций города);  
 $N$  – количество участков дорог на трассах уступов (определяется с учетом ориентации дорог, их протяженности и среднего расстояния между уступами);

$n_1$  – количество ремонтов участков дорог на трассах уступов за все время их эксплуатации, определяемое по формуле:

$$n_1 = h_y / h_0, \quad (6)$$

где  $h_y$  – высота уступа в зоне деформаций, см;  
 $h_0$  – высота уступа, при которой необходимо планировать ремонт, равная 10 см.

В оценке риска и управлением риском общим является то, что они – два аспекта единого процесса принятия решения, основанного на характеристике риска. Это обусловлено их главной целевой функцией – определением приоритетов действий, направленных на уменьшение риска до минимума. Для этого необходимо знать как его источники и факторы – (анализ риска), так и наиболее эффективные пути его сокращения (управлением риском). Взаимосвязь между оценкой риска и управлением им представлена на рис. 2.



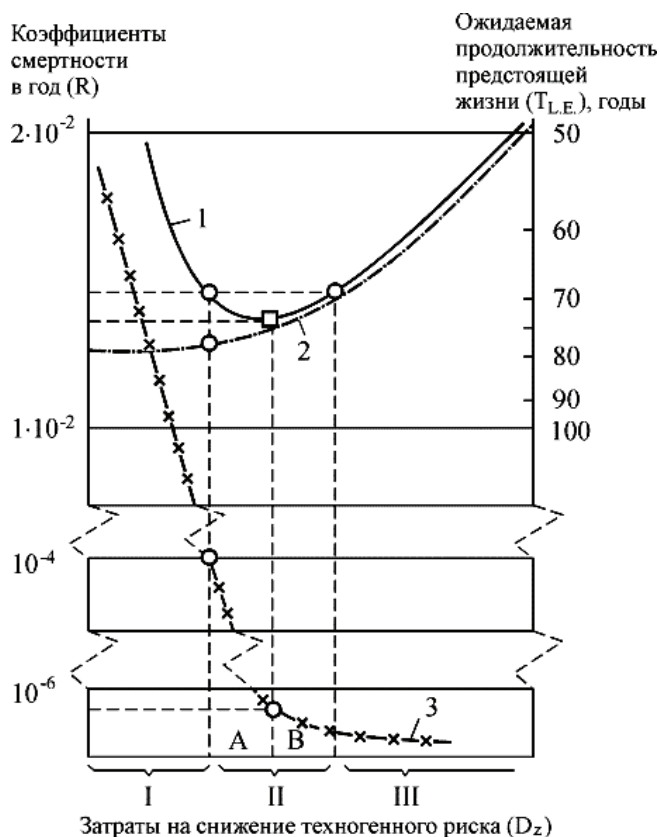
**Рисунок 2** – Взаимосвязь между оценкой и управлением риском: А – область оценки риска; Б – область управления риском; В – область характеристики риска;  $\rightarrow$  – прямые связи между элементами оценки и управления риском;  $\leftarrow$  – обратные связи принятия решения с другими элементами оценки и управления риском.

Основное различие между оценкой и управлением риском заключается в том, что оценка риска строится на инженерном изучении источника и факторов риска и механизма взаимодействия между ними. Оценка риска является основой для исследования и выработки мер управления риском в соответствии с алгоритмом действия.

Задача управления безопасностью сводится к определению такого значения  $I_z$ , при котором достигается минимум целевой функции  $R_s$  (рис. 3) и, соответственно, максимум продолжительности предстоящей жизни  $T_{LE}$ . Таким образом, затраты на создание и эксплуатацию технических систем безопасности в задаче управления безопасностью играют роль управляющей переменной. Оптимальные значения, соответствующие минимуму целевой функции, зависят от уровня развития управляемой социально-экономической системы.

Рассмотренный материал показывает:

- приемлемый риск представляет некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения и сочетает в себе технические, экономические, социальные и политические аспекты;
- для любого данного уровня техногенного риска невозможно его дальнейшее снижение. Стремление снизить его до нуля ведет не к снижению, а к увеличению общего риска в обществе;
- суммарный риск имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферы. Это необходимо учитывать при выборе риска, с которым общество вынуждено мириться;



**Рисунок 3** – Оптимизация затрат  $D_z$  на снижение техногенного риска  $R_T$ ; 1 – общий риск ( $R_S = R_{c.a.} + R_T$ ); 2 – социально-экономический риск ( $R_{c.a.}$ ); 3 – техногенный риск ( $R_T$ );  $\delta$  – точка минимума общего риска  $R_S$ , соответствующая равенству предельных затрат на снижение  $R_T$  и  $R_{c.a.}$ ; I – область, в которой из-за недостаточности затрат на снижение  $R_T$  этот риск неприемлемо высок; II – область, в которой затраты на снижение  $R_T$  обеспечивают приемлемый уровень  $R_S$ ; III – область чрезмерных затрат на снижение  $R_T$ , ведущих к неприемлемо высокому уровню  $R_{c.a.}$ .

– экономические возможности повышения безопасности технических систем ограничены. Затрачивая чрезмерные средства на повышение безопасности, можно нанести ущерб социальной сфере. При увеличении затрат на безопасность технический риск снижается, но растет социальный.

При строительстве объектов недвижимости на территориях, подверженных сдвиганиям и деформациям, необходимы научно обоснованный подход к принятию экономически выгодных мер охраны подрабатываемых объектов и разработка критериев оценки риска освоения территорий по техногенным и природным факторам. Необходимо кадастровое районирование территорий с характеристикой участков по степени благоприятности для строительного освоения в процессе строительства и эксплуатации объектов. Участки должны выделяться на инженерно-геологической карте с учётом прогноза изменения природной среды. При проектировании должны предусматриваться рекомендации по инженерной защите, подготовке и возможному использованию территорий. Управление рисками в строительстве является важной составной частью общего процесса управления производством. Производственные риски связаны с технологией строительства, которые могут сопровождаться авариями с различными последствиями. К ним относятся и экологические риски, вызванные воздействием на окружающую природную среду.

Управление рисками является систематизированным процессом, включающим: идентификацию опасностей и связанных с ними рисков, воздействующих на процесс строительства; количественную и качественную оценку рисков; идентификацию методов и действий, планируемых для уменьшения рисков; распределение рисков между участниками проекта.

Идентификация рисков – это описание опасностей, оценка их последствий и вероятности возникновения, а также стратегий, применяемых в качестве предотвращающих и смягчающих действий. На каждой стадии проектирования и строительства требуются оценки рисков, которые суммируются в регистре, где показана ответственность каждого участника строительства за контроль и управление

идентифицированным риском. Регистр рисков должен быть документом, который постоянно пересматривается и доступен для внимательного изучения в любое время. Важной частью системы управления рисками являются их качественные и количественные оценки. Идентифицированные опасности классифицируются в соответствии с величиной риска, который они представляют. Там, где ожидаемые уровни риска превышают принятый критерий приемлемости, необходимы действия, снижающие опасность. Уменьшение риска на определенной стадии проекта достигается изменениями технических решений и возможной очередности порядка работ.

В системе управления рисками также оцениваются: остаточные риски, которые сохраняются даже после снижения опасности первичных рисков; вторичные риски, которые возникают после или в результате мер, принимаемых для снижения первичных рисков; взаимодействие рисков, когда два или более риска происходят одновременно и приводят к последствиям более тяжелым, чем простая сумма воздействия каждого риска в отдельности.

Риск наземного комплекса сооружений на подработанной территории заключается в том, что образование выработанного пространства в результате подземных горных работ вызывает сдвигание прилегающего массива горных пород и изменение рельефа поверхности, которые могут причинить повреждения поверхностным сооружениям вплоть до их полного разрушения.

Процесс сдвигания горных пород развивается во времени и имеет начальную стадию и конечную. Именно с этой характеристикой сдвигания связаны перспективы использования подработанных территорий. В условиях полной подработки, когда размеры выработанного пространства в плане превышают глубину разработки и отсутствуют целики, использование всей территории мульды сдвигания, в том числе и зоны провала, возможно через определенный промежуток времени в зависимости от глубины горных работ.

В алгоритм методики оценки возможности использования подработанных территорий входят аналитические расчеты устойчивости поверхности над выработанным пространством, геодезический мониторинг за сдвижением поверхности и геофизические измерения. Геофизические измерения включают в себя крупномасштабные и мелкомасштабные исследования. Крупномасштабные исследования имеют цель выявить зоны распространения горных работ, а мелкомасштабные на основе разработанных заранее моделей диагностировать надпустотную толщу и определить перспективы вовлечения планируемого подработанного участка в хозяйственный оборот.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриленко, Ю. Н. Изучение сдвижений и деформаций земной поверхности в сложных горно-геологических условиях Донбасса [Текст] / Ю. Н. Гавриленко // Наукові праці ДонНТУ: Серія горно-геологічна. Випуск 62. – Донецьк : ДонНТУ, 2003. – С. 34–37.
2. Выявление и мониторинг потенциально опасных участков образования деформаций земной поверхности на подработанной территории г. Березники : отчет о НИР по х/д: 123-128 [Текст] / Фонды ОАО «Галургия» ; рук. В. П. Колесников ; исполн. : А. В. Татаркин [и др.], 2012. – 200 с.
3. Методические указания по прогнозу сдвижений и деформаций земной поверхности и определению нагрузок на здания при многократных подработках [Текст] / Под ред. Т. Г. Майборода / Министерство угольной промышленности СССР. – Л. : ВНИМИ, 1987. – 94 с.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст]. – Введ. 16.03.1998 / Министерство топлива и энергетики РФ. – СПб. : ВНИМИ, 1998. – 290 с.
5. Гавриленко, Ю. Н. Общий подход к оценке подвижности, подверженной влиянию подземных горных работ [Текст] / Ю. Н. Гавриленко, А. Н. Агеев // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія гірничо-геологічна, Вип. 62. – Донецьк : ДонНТУ, 2003. – С. 149–155.
6. Рекомендации по выбору комплекса строительных и горных мер защиты подрабатываемых населенных пунктов и промышленных предприятий [Текст] / Донецкий Промстройиниипроект. – Донецьк : Донецкий Промстройиниипроект. – 1986. – 224 с.
7. Шнелер, В. Р. Оценка ущерба от подработки городов и поселков при сосредоточенных деформациях земной поверхности [Текст] / В. Р. Шнелер, Л. А. Иванова, М. П. Басин, А. Трифонов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2007. – № 1. – С. 82–93.
8. Cook, J. S. Raadar transparencies of mine and tunnel rocks [Text] / J. S. Cook // Geophys. – 1975. – № 40. – P. 865–885.
9. Kerimov, F. The inverse problem for GPR of impulse type via optimal control theory [Text] / F. Kerimov, V. Koreikin // Proceedings of 7th Intenational Conference on GPR. – 1998, V. 1. – P. 309–312.

Получено 12.03.2018

С. Ю. ПРИХОДЬКО <sup>a</sup>, М. Р. КАХІАНИ <sup>b</sup>  
ТЕХНОГЕННІ РИЗИКИ ПОВЕРХНЕВОГО КОМПЛЕКСУ НА  
ПІДРОБЛЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ (НА ПРИКЛАДІ ДОНБАСУ ТА ТКІБУЛІ-  
ШАОРСЬКОГО РОДОВИЩА)

<sup>a</sup> ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», <sup>b</sup> Грузинський технічний університет, Тбілісі, Грузія

**Анотація.** Підприємства паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) Донбасу і Ткібулі-Шаорського родовища – сфера високих ризиків і об'єктів підвищеної промислової небезпеки, які мають великі потенційні можливості для створення катастрофи техногенного характеру, різних аварій, загрози людям і навколишньому середовищу. Різноманітність ризиків, що виходять від підприємств ПЕК, зумовлює необхідність комплексного підходу для мінімізації можливості аварії і катастрофи, а також потребу організації системи ризик-менеджменту, націленого на вирішення масштабного комплексу проблем різного характеру, в яких екологічні ризики займають далеко не останнє місце.

**Ключові слова:** промислово-природний комплекс, моделювання об'єктів, теорія управління, гірничі виробки, провали поверхні.

SERHIY PRYKHOD'KO <sup>a</sup>, MERABI KAKHIANI <sup>b</sup>  
EDUCATION TECHNOGENIC RISKS OF THE SURFACE COMPLEX IN THE  
WORKED TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF THE DONBAS AND  
TKIBULI-SHAOR LAND DEPOSIT)

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>b</sup> Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

**Abstract.** The enterprises of the fuel and energy complex of the Donbas and Tkibuli-Shaorsky deposits are a sphere of high risks and objects of increased industrial danger, which have great potential for creating a technogenic catastrophe, various accidents, threats to people and the environment. The variety of risks arising from the fuel and energy complex predetermines the need for an integrated approach to minimize the possibility of an accident and catastrophe, as well as the need to organize a risk management system aimed at solving a wide range of problems of a different nature in which environmental risks are far from being the last.

**Key words:** : industrial-natural complex, object modeling, control theory, mine workings, surface failures.

**Приходько Сергей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: анализ рисков для зданий и сооружений на подработанных территориях; моделирование слоистой структуры горного массива в местах подработки.

**Кахиани Мераби Рустамович** – доктор технических наук, профессор Грузинского технического университета, г. Тбилиси, Грузия. Научные интересы: анализ рисков для зданий и сооружений на подработанных территориях; моделирование слоистой структуры горного массива в местах подработки.

**Приходько Сергій Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз ризиків для будівель і споруд на підроблених територіях; моделювання шаруватої структури гірського масиву в місцях підробки.

**Кахіані Мерабі Рустамович** – доктор технічних наук, професор Грузинського технічного університету, м. Тбілісі, Грузія. Наукові інтереси: аналіз ризиків для будівель і споруд на підроблених територіях; моделювання шаруватої структури гірського масиву в місцях підробки.

**Prykhod'ko Serhiy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: risk analysis for buildings and structures on the lands under cultivation; the stratified structure model operation of the rock massif in the undermining areas.

**Kakhiani Merabi** – D. Sc. (Eng.), Professor, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia. Scientific interests: risk analysis for buildings and structures on the lands under cultivation; modeling of the stratified structure model operation of the rock massif in the undermining areas.