

**М. С. Иванова**, к.т.н., доцент,  
070601pgs@gmail.com

**С. В. Коновал**, ассистент,  
seryoga.conoval@yandex.ua

**Абед Самар Фарис**, аспирантка  
070601pgs@gmail.com

Черкасский государственный технологический университет,  
б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА ПО УСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО ВБЛИЗИ ОТКОСА НА СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

*Работа посвящена исследованию грунтов в сложных инженерно-геологических условиях, а также путей повышения устойчивости оснований, сложенных из структурно-неустойчивых грунтов. Актуальность данной работы заключена в проблеме устойчивости оснований, взаимодействующих с фундаментами, установленными на структурно-неустойчивых грунтах. По результатам исследований составлены рекомендации, направленные на повышение устойчивости основания, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами.*

**Ключевые слова:** грунты, просадочность, подработка, исследования, методы испытания, стесненные условия.

**Постановка проблемы.** Проблема повышения устойчивости откосов, прогноз деформаций и их укрепление продолжают оставаться актуальными. Это связано с увеличивающимся дефицитом свободных земельных площадей и расположением сооружений в стесненных условиях, вблизи откосов, сложенных неоднородными грунтами. При этом важно знать также, уменьшается ли возможность сопротивляемости материалов конструкций и при каких факторах. Этому способствуют, во-первых, сильная расчлененность рельефа, во-вторых, сложные инженерно-геологические условия, которые ставят под угрозу жизнь людей [1; 2].

Эти обстоятельства вызывают необходимость усовершенствования методов расчета по устойчивости грунтовых массивов, в частности, откосов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** К настоящему времени опубликовано большое количество работ, в которых они рассматривают их с двух точек зрения. Геологи изучают эти процессы, на базе метода натурных наблюдений и методов по использованию опыта, накопленного веками.

Прямое использование методов без учета конкретных условий во многих случаях приводит к серьезным ошибкам: причиной тому служит разнообразие природной обстановки и типов грунтов, условий их залегания, а также гидрогеологических условий.

Наиболее перспективным в решении данной проблемы является изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива с применением метода конечных элементов (МКЭ). Усовершенствование методов исследования и расчета устойчивости откосов на основе анализа НДС является актуальной задачей механики грунтов и горных пород.

Одним из основных недостатков существующих в настоящее время расчетных методов является отсутствие строгого анализа НДС грунтового массива. Расчет устойчивости откосов проводится с использованием только вертикальной составляющей напряжений и без учета таких важных характеристик грунтов, как коэффициент бокового распора и модуля упругости. Указанные недостатки во многих случаях не позволяют достаточно точно и надежно определять их устойчивость.

**Постановка задачі и ее решение.**

Цель работы состоит в повышении достоверности прочностных характеристик, получаемых методом математического моделирования предполагаемых процессов.

Задача исследований состояла в усовершенствовании существующих методов и технологий испытаний для определения относительной величины коэффициента запаса по надежности и оценке несущей способности основания, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами.

Решение поставленной задачи достигалось опытным путем на исследуемых участках Донбасского региона и в лабораторных условиях с использованием реальных грунтовых характеристик.

Отличие ранее известных методов оценки расчета по устойчивости массива состоит в математическом моделировании реального основания с заданными параметрами с помощью комплексной программы по заданному расчетному алгоритму.

*Базовый вариант* предусматривал использование результатов от ранее проведенных непрерывных испытаний с поддержанием действующей нагрузки при исследовании в полевых условиях [1; 2].

*Новый вариант* предусматривает моделирование, которое должно проводиться с помощью комплексной программы на базе ЭВМ, с использованием реальных грунтовых условий. При этом предусматривается моделирование нагрузки, передаваемой от моделируемых сооружений, расположенных вблизи откосов, путем масштабирования, в режиме реального времени, с помощью математического аппарата, содержащего комплекс расчетных программ, позволяющих прогнозировать происходящие процессы [3–6].

Для выяснения необходимо проведение соответствующих расчетов, которые позволят сравнить традиционные методы оценки расчета по устойчивости массива, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами под действием на них нагрузки, с предложенными.

**Задача исследований осложняется** в части установления предельной относительной величины коэффициента запаса по надежности и оценке несущей способности основания, сложенного структурно-

неустойчивыми грунтами для сооружений, расположенных в стесненных условиях, а также в части создания рекомендаций, позволяющих учитывать параметры, влияющие на расчет по определению сопротивляемости сооружений повышенному режиму огнестойкости сгорания, в зависимости от стесненных условий.

**Отличие** от ранее известных методов оценки расчета по устойчивости массива, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами при действии на него нагрузки, передаваемой от сооружений, расположенных вблизи откоса в стесненных условиях, состоит в математическом аппарате моделирования реального основания с заданными параметрами и управлении процессом испытания с помощью ЭВМ, с использованием комплексных программ. В усовершенствовании метода расчета и рекомендаций, повышающих достоверность параметров, влияющих на несущую способность основания, в частности, рекомендуется наиболее безопасное расположение сооружения от бровки откоса.

Из анализа работ справочных материалов по основаниям и фундаментам приводятся значения коэффициента устойчивости  $K_y$  для укрепления откосов с помощью обычных противооползневых мероприятий, однако эти мероприятия не всегда приемлемы.

Существует утверждение, что для повышения точности расчетов и применения более рациональных противооползневых мероприятий, с целью ограничения разрушаемости конструкций, значение требуемого коэффициента устойчивости должно снижаться лишь весьма небольшим превышением значения  $K_y$  над единицей, что достаточно при задании значений  $K_y$  от 1,05 до 1,1. Такое предположение является спорным и требует уточнения путем получения наиболее достоверных данных.

Известны вариационные методы расчета, предложенные А. Д. Гиргидовым, М. Н. Гольдштейном, А. Г. Дорфманом, У. Х. Магдеевым и др. [2–4]. Сложность известных методов состоит в большом объеме вычислений, возможности внесения ошибок человеческим фактором, а усложнение расчетов в таких методах не оправдывается каким-либо уточнением результатов.

Основными недостатками существующих в настоящее время расчетных методов являются: отсутствие строгого анализа НДС грунтового массива; использование только вертикальной составляющей напряжений при расчете устойчивости откосов без учета таких важных характеристик грунтов, как коэффициент бокового распора и модуля упругости.

Указанные недостатки во многих случаях не позволяют достаточно точно и надежно определять их устойчивость. Это требует дальнейшего изучения и совершенствования методов расчета по устойчивости неоднородных сложенных откосов, с помощью которых можно было бы устанавливать влияние всех факторов на общую устойчивость.

Поэтому вопросы, задачи по повышению устойчивости оснований от действия фундаментов, воспринимающих нагрузки от всего сооружения, являются первоочередными и достаточно актуальными.

Актуальность данной проблемы возрастает еще и в связи со все увеличивающимся дефицитом свободных земельных площадей и продолжает быть значимой, особенно при оценке несущей способности основания для сооружений, расположенных в стесненных

условиях, с учетом влияния степени сопротивляемости их повышенному режиму огнестойкости сгорания информации. Непосредственного решения данной проблемы в литературе нет.

Одним из главных факторов, влияющих на оценку качества основания при проектировании фундаментов, является отсутствие достоверных характеристик, входящих в состав расчетных формул. Неоднозначные заключения, получаемые при инженерных изысканиях, чреватые последствиями. Особенно это относится к зданиям, проектируемым на основаниях, сложенных структурно-неустойчивыми грунтами, где малейшие отклонения приводят к значительным расходам на укрепление оснований и разрушающегося фундамента, взаимодействующего с сооружением и ведут либо к приостановке строительных работ, или к полному их прекращению.

Объектом исследования представлены сооружения с целью проектирования их на подработанных участках шахтного двора г. Торез, Донецкой области и вблизи откосов (рис. 1 а, б), сложенных меловыми грунтовыми массивами Донбасского региона (рис. 2).



а)



б)

**Рис. 1. Общий вид здания под строительство и моделируемой области участка вблизи откоса**

В период 2012–2014 гг. нами были изучены и исследованы грунтовые условия участков под проектирование сооружений с целью усовершенствования методики расчета с применением возможного математиче-

ского моделирования в лабораторных условиях и комплексных расчетных программ по определению устойчивости грунтового массива и прогноза деформационных свойств [5–7].

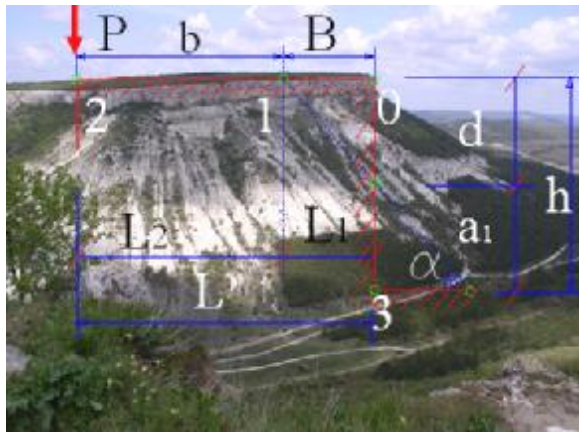


Рис. 2. Общий вид участка откоса, планируемого под застройку

Одним из самых эффективных способов, позволяющих своевременно зарегистрировать начало и активизацию деформационных процессов в элементах сооружений от разрушающего воздействия, является использование автоматизированных систем, которые с высокой достоверностью воспринимают сигналы от деформирующихся объектов.

Основным инструментом, используемым для решения нашей задачи, был метод математического моделирования в системе АСУ, воспроизводящего и воспринимающего модель процессов в грунте с помощью программ «ГРУНТ» МОНОМАХ, и моделирование трёхмерного основания здания с учётом совместной работы грунтового массива и здания методом конечных элементов (МКЭ-расчёт) в системе ПК-ЛИРА.

Эта система была направлена на обеспечение автоматизированного измерения деформационных параметров в режиме on-line с последующей математической обработкой и представлением данных в доступном виде так, чтобы полученные результаты позволили сделать заключение о закономерностях деформационного состояния сооружения, а также на прогнозирование его дальнейшего поведения и все это зависело от правильно составленного математического алгоритма, который корректировался испытаниями, проведенными в натурных условиях на выбранных участках Донбасского региона. Решение этой задачи и надежность этих решений находятся в прямой зависимости от того, насколько точно и полно принята расчетная схема соответствует ре-

альным условиям совместной работы рассматриваемого сооружения и грунтового основания.

Исследования показали, что не любая принятая расчетная схема-модель может полностью описать процессы, происходящие в грунтовом массиве и до настоящего времени недостаточно изученные. Расчетная схема-модель должна отражать основные закономерности процесса взаимодействия инженерного сооружения с грунтовым основанием – это требование позволяет при упрощенной математической модели основания получать достаточно хорошую сходимост прогнозируемых величин с опытными данными.

С нашей точки зрения, исследуемый объект есть предметом для сегодняшнего обсуждения и примером для поиска наиболее практичных мероприятий, не допускающих разрушения конструкций в период застройки и при дальнейшей эксплуатации здания. Как сообщалось выше, исследования были направлены на поиск закономерности изменения свойств строительного участка грунтовой толщи, которая находится в аварийно опасном состоянии, а также необходимости в подтверждении недопущения появления деформаций от просадки, соответственно кренов и, как следствие, расстройств соединений, с последующим подтверждением достоверности результатов, примененных при определении достаточности несущей способности подстилающего слоя под подошвой фундамента.

Пришедшая на помощь вычислительная техника позволила обеспечить массивную обработку [5] с вероятностью возможного исключения внесения погрешности от влияния человеческого фактора при снятии информации и дальнейшей обработки расчетных показателей, входящих в состав расчетных формул, а также позволила подтвердить достоверность получаемых результатов, обработанных по таблицам, графикам, номограммам при сопоставлении с натурными испытаниями, результаты которых опубликованы нами ранее в других работах [6–7].

Сущность метода заключена в выполнении расчета общей устойчивости откоса вдоль наиболее вероятной или известной поверхности смещения методом суммирования

частных значений  $K_y$ , полученных по общеизвестной формуле, (1):

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \tau_{*i}}{\sum_{i=1}^{i=n} \tau_i}, \quad (1)$$

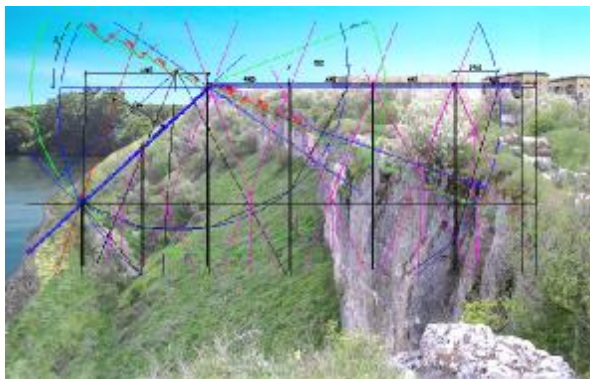
где  $K_y$  – коэффициент устойчивости;

$n$  – количество привлеченных в расчете частных значений;

$\tau_i$  – частные значения величин касательных напряжений.

Если относительная величина коэффициента запаса  $K_y < 1,10$  – это означает неустойчивое состояние клина. Причина состоит в том, что формирующиеся клинья, составляющие отрезок отсеченного участка и переходящего в общий клин, отличаются между собой формой и размерами (рис. 2, 3).

Эксперимент состоял в проверке выполняемых условий по наиболее безопасному расстоянию для расположения здания вблизи откоса путем математического моделирования с применением комплексных программ и введением реальных грунтовых условий.



**Рис. 3. Расчетная схема по определению устойчивости основания и безопасного расстояния, необходимого для расположения здания вблизи откоса**

Требовалось перерасчетом и опытным путем подтвердить, что запланированное расположение сооружения выполнено на допустимом расстоянии. Предварительным расчетом были получены также поля точек и проведена интерполяция частных значений коэффициента устойчивости  $K_y$ , которые позволили оценить эти величины и отразить их в виде построенных изолиний при

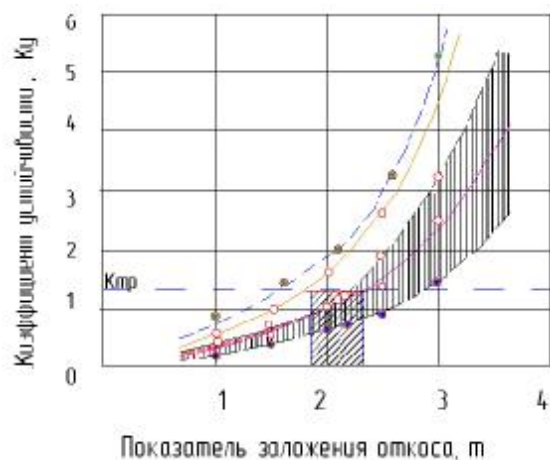
$K_y = const$ , что позволило в дальнейших опытах:

- объективно выбрать положение поверхности вероятного откосного разрушения, соответствующее отсеченной линии устойчивости, с использованием меловых грунтовых массивов Донбасского региона (рис. 1–3) и вблизи откоса на подработанных территориях (рис. 3);

- оценить общую устойчивость откоса вдоль поверхности смещения в виде коэффициента устойчивости или запаса прочности  $K_y = K_z$  и обнаружить в массиве пород откоса зоны потенциальной неустойчивости, где  $K_y < 1$ ;

- оценить количественно степень влияния различных инженерно-геологических факторов (пригрузка, противоразрушающие мероприятия, снижение прочности пород, гидростатическое и гидродинамическое давления) на общую устойчивость;

- построить график частных значений коэффициента устойчивости вдоль выбранной или известной поверхности смещения (рис. 4).



**Рис. 4. Номограммы по определению коэффициента устойчивости в зависимости от прочностных характеристик**

Дальнейшие исследования показали, что более достоверное определение требуемого значения коэффициента устойчивости основания, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами  $K_{тр}$ , по прочности (первое предельное состояние) следует находить по выражению (2):

$$K_{тр} = \frac{K_n n_c n_o}{m_o}, \quad (2)$$

где  $K_n$  – коэффициент надежности по назначению сооружения [СНиП 2.02.01-83];

$n_c$  – коэффициент сочетания нагрузок;  
 $n_c = 1 \div 0,9$ ;

$n_o$  – коэффициент перегрузки;

$n_o = 1,1$ ,

$n_o = 1,2$ ;

$m_o$  – коэффициент условий работы;

$m_o = 0,9$  – для пылевато-глинистых грунтов в стабилизированном состоянии,

$m_o = 0,85$  – в нестабилизированном состоянии [4].

Это позволяет повысить достоверность получаемых результатов.

Немаловажное значение имеют факторы, влияющие на общую устойчивость сооружения, взаимосвязанного с основанием, недостаточно и не всегда учитываемые при проектировании фундаментов, – это величины огнестойкости, возгораемости, которые требуют изучения, особенно в стенных условиях.

Для выяснения влияния прочностных характеристик материала, из которого изготовлена конструкция, на общую устойчивость при возгорании и с целью определения интервала величины сопротивляемости разрушению во времени были рассмотрены различные материалы, составляющие общее представление о сооружении, взаимодействующем с основанием.

Исследованиями была отмечена разница в показаниях температурной размягчаемости. Так, например, некоторые материалы при нагревании до определенных температур (ниже температуры плавления) переходят в пластическое состояние и размягчаются (например, стекло при нагревании до 750–900°C; асфальтобетон – свыше 50°C).

Некоторые размягченные материалы после охлаждения принимают прежнее структурное состояние. Дальнейшее изучение факторов, влияющих на общую устойчивость сооружений, необходимых для учета математического моделирования, показало, что пластичность некоторых материалов повышается с нагревом и понижается с понижением температуры (сталь, битумы, некоторые пластмассы). Происходит релаксация, то есть, другими словами, падение напряжения в материале при постоянной начальной деформации.

При математическом моделировании и составлении расчетного алгоритма были введены изученные параметры: молибдена 1700–2000°C, вольфрама 2200–2500°C, ниобия 1900–2300°C и других.

Алгоритмом предусмотрена зависимость давления насыщенных паров от температуры для расчёта температуры воспламенения  $t_v$ , °C веществ, состоящих из атомов С, Н, О и N и для учета в расчете по известной формуле (3):

$$t_v = \frac{453}{P_v \cdot D_o \cdot \beta}, \quad (3)$$

где  $P_v$  – парциальное давление паров горючей жидкости при температуре вспышки, кПа;

$D_o$  – коэффициент диффузии пара в воздух, см<sup>2</sup>/с;

$\beta$  – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции горения.

Для расчета температуры воспламенения веществ в молекулах, в которых содержатся структурные группы, рекомендуется табл. 1, алгоритм которой рассчитывается по формуле (4), °C;

$$t_v = -47,79 + 0,882 \cdot t_k + \sum_{j=2}^q a_j l_j, \quad (4)$$

где  $t_k$  – температура кипения жидкости при 101 кПа, °C;

$l_j$  – число структурных групп  $j$ -го вида в молекуле;

$a_j$  – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1  
**Величины температур материалов, способных сопротивляться возгоранию**

Материал	$\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	$T_{нп}$ °C	$T_{кп}$ °C
песок	1.76	100	500
глинистые	1.78	100	510
песчаник	2.20	150	400
металл сталь	2.70	150	400
бетон	2.20		
железобетон	2.40		

**Выводы.** В заключение можно сказать следующее. Усовершенствованный метод позволит:

- оценивать величину деформации ползучести за период, равный началу изменения структурной прочности грунтового основания, и его начала восстановления до улучше-

ния прочностных свойств грунтов примененными мероприятиями в тех случаях, когда  $K_n < 1$ , а  $K_{oy} \geq 1$ ;

- знать величину интервала коэффициента устойчивости. Можно прогнозировать по составленным номограммам (рис. 3, 4), при какой нагрузке и на каком расстоянии от бровки откоса необходимо располагать сооружение, чтобы не произошло обрушение, или предусмотреть мероприятия, исключающие изменение структурной прочности грунтового основания;

- обнаружить зоны вероятного разрушения и пластических деформаций ( $K=1$ ), что помогает правильно и целенаправленно организовать горные и буровые работы, отбор и испытание образцов, а также применить мероприятия, направленные на повышение устойчивости основания, сложенного структурно-неустойчивыми грунтами;

- учесть факторы, влияющие на прочностные свойства материала, из которого изготовлена конструкция;

- получить интервал величины сопротивляемости возгоранию во времени, по классификации материала, с целью учета их при проектировании и назначении использования материала для конструкции.

#### Список литературы

1. Основания гидротехнических сооружений: СНиП 2.02.02-85. – [Действителен с 1987–01–01]. – Госстрой СССР, 1985.
2. Чугаев Р. Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на нескальном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения / Р. Р. Чугаев. – Д. : Гос. энергетич. изд-во, 1963. – 144 с.
3. Предложения по уточнению методов анализа устойчивости морских гидротехнических сооружений на основных поверхностях скольжения / [П. Яковлев, О. Ладур и др.] // Труды Второй международной конференции по морской промышленности (Marind, 1998). – Болгария, 1998.
4. Ковалев И. В. Расчет устойчивости оснований, ограниченных откосом / И. В. Ковалев // Сборник трудов ЛИИЖТ. – М. : Транспорт, 1965.
5. 1758159 М.кл. Е 02 D 1/00. Устройство для испытания грунтов / Иркиевский В. Д., Иванова М. С., Иванов А. П., Дрючин В. Г. – № 485419/33; заявл. 30.08.92 ; Бюл. № 32.
6. Иванова М. С. Экспериментальная оценка возможности расположения сооружения вблизи откоса / М. С. Иванова, А. П. Иванов // Будівельні конструкції : міжвідомчий наук.-техн. зб. – Вип. 61, т. 2. – К. : НДІБК, 2004.
7. Иванова М. С. Программное обеспечение по обработке опытных данных, получаемых методом экспресс-анализа при определении физико-механических характеристик грунтов / М. С. Иванова, А. А. Левченко // Будівельні конструкції : міжвідомчий наук.-техн. зб. – К. : НДІБК, 2004.

#### References

1. Grounds waterworks: SNIP 2.02.02-85 (1985) [Actual from 1987-01-01]. Ministry of Construction of the USSR [in Russian].
2. Chugaev, P. P. (1963) Calculation of the stability of earth slopes and concrete dams on neskalnomo based on the method of circular cylindrical surfaces collapse. Donetsk: Gos. energetich. izd-vo, 144 p. [in Russian].
3. Jakovlev, P., Ladur, O. et al. (1998) Suggestions for specification of methods of analysis of stability of sea hydrotechnical structures at the fixed slip surfaces. *Trudy Vtoroj Mezhdunarodnoj konferencii po morskoj promyshlennosti*. Bolgarija [in Russian].
4. Kovalev, I. V. (1965) Calculation of stability of foundations, limited by slope. *Sbornik trudov LIIZhT*. Moscow: Transport [in Russian].
5. Irklievsky, V. D. Ivanova, M. S., Ivanov, A. P. and Dryuchin, V. G. (1992) 1758159 M.kl. E 02 D 1/00. Device for testing of soils. № 485419/33; appl. 30/08/92; Bull. № 32 [in Russian].
6. Ivanova, M. S. and Ivanov, A. P. (2004) Experimental evaluation of possible location of facilities near a slope. *Budivel'ni konstruktsiyi: interbrunch scient.-techn. collection*, 61, (2). Kyiv: NIISK [in Russian].
7. Ivanova, M. S. and Levchenko, A. A. (2004) Software processing of experimental data obtained by rapid analysis when determining physical and mechanical properties of soil. *Budivel'ni konstruktsiyi: interbrunch scient.-techn. collection*, Kyiv: NIISK [in Russian].

**M. S. Ivanova**, *PhD., associate professor,*  
070601pgs@gmail.com

**S. V. Konoval**, *assistant,*  
seryoga.konoval@yandex.ua

**Abed Samar Faris**, *post-graduate student*  
070601pgs@gmail.com

Cherkasy State Technological University  
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

### **IMPROVEMENT OF THE CALCULATION OF STABILITY OF A BUILDING LOCATED NEAR A SLOPE ON STRUCTURALLY UNSTABLE SOILS**

*The article is devoted to the research of soils in difficult engineer-geological terms and also the ways of increasing of stability of bases built from structurally unsteady soils. Actuality of this work consists in the problem of stability of bases which co-operate with foundations, set on structurally unsteady soils. After the results of researches the recommendations directed on the increase of stability of a base built by structurally unsteady soils are made.*

*The purpose of the work is to improve the reliability of strength characteristics obtained by the method of mathematical modeling of expected processes.*

*The objective is to improve the existing testing methods and technologies in order to determine relative value of safety factor and reliability assessment of bearing capacity of the base folded structurally unstable soils.*

*Object is achieved empirically by study of the sites of Donbass region and in the laboratory using of real groundwater characteristics. Unlike previously known methods for calculating estimates for stability of the array is mathematical modeling of real basis to the settings through a comprehensive program for calculating algorithm specified.*

*Basic option would be the use of results from prior continuous testing, maintaining the current load in the study in the field.*

*New variant provides modeling, which should be carried out through an integrated computer-based program (EBM), using actual ground conditions. It is contemplated the load transmitted from the simulation modeled structures located near a slope by scaling in real-time by mathematical apparatus containing complex calculation programs that allow to forecast occurring processes.*

**Keywords:** *soils, ground subsidence, underworking, studies, testing methods, constrained conditions.*

*Рецензенти: В. Д. Петренко, д.т.н., професор,  
В. Є. Снитюк, д.т.н., професор*