



МОНИТОРИНГ ЗЕМЛЯНОГО СООРУЖЕНИЯ

Переводная статья

Поступила в редакцию 27.03.2023. Принята к публикации 10.04.2023

© Независимый электронный журнал «ГеоИнфо», 2023

КОКОЧИНЬСКАЯ-ПАКЕТ Э.

Факультет гражданского строительства и архитектуры Опольского технологического университета, г. Ополье, Польша, e.kokocinska-pakiet@po.edu.pl

АННОТАЦИЯ

Предлагаем вниманию читателей адаптированный и немного сокращенный перевод доклада Эльжбеты Кокочиньской-Пакет из Опольского технологического университета (Польша) «Мониторинг земляного сооружения», сделанного на 7-м Всемирном междисциплинарном симпозиуме по наукам о Земле (WMESS 2021) в сентябре 2021 года в Чехии. Указанный доклад был опубликован в сборнике материалов конференций Earth and Environmental Science («Науки о Земле и окружающей среде») издательской компанией IOP Publishing британского научного общества IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшего фактически международным. Он находится в открытом доступе и распространяется по лицензии Creative Commons Attribution 3.0, которая позволяет переводить, адаптировать и использовать эту работу в любых целях при указании ссылки на первоисточник и типов изменений. В нашем случае ссылка [1] приводится в начале списка литературы. Остальные источники из этого списка были использованы автором переведенного доклада.

По данным Главного управления строительного надзора Польши, с 2008 по 2019 год в этой стране произошло 5455 строительных катастроф. Из них 4023 были вызваны случайными событиями, из которых 110 произошли из-за оползней. Большинство из последних (94) произошло в 2010 году. Эти оползни были разной интенсивности и существенно повлияли на нынешнее строение земной поверхности.

В естественной обстановке оползни – это долговременные процессы, активизирующиеся в зависимости от изменений внешних природных условий, таких как водонасыщение грунта, обезлесение территорий, сильная деградация или эрозия склонов или откосов. Действительно, каждый, кто имел дело с оползнями, знает, что это не одно внезапное явление, а процесс – цепь событий, происходящих одно за другим и развивающихся во времени. Это вызывает необходимость получения более детальных знаний о механизмах и характере процессов и явлений, происходящих в грунтах, слагающих склоны или откосы. И здесь чрезвычайно важную роль играет мониторинг состояния и поведения этих грунтов.

В Польше земляные сооружения в большинстве случаев относятся ко второй (средней) или третьей (сложной) геотехнической категории в соответствии с нормами Министерства транспорта, строительства и морской экономики 2012 года. Закон обязывает собственника участка, на котором расположено такое сооружение, проводить проверки и мониторинг его состояния.

В представленной работе [1] рассматривается мониторинг откоса и венчающей его земляной дамбы между берегом реки Одер и полигоном для жидких отходов одного из предприятий пищевой промышленности. В 1997 году там произошла катастрофа. Высокий уровень воды в реке привел к размыванию и чрезмерному обводнению откоса и дамбы, в результате чего они вместе с частью отстойников сползли в сторону Одера и вызвали его загрязнение. После восстановительных работ внешняя геометрия откоса и дамбы и состояние слагающих их грунтов постоянно контролируются. В публикации [1] обсуждаются применяемые методы мониторинга и рассказывается о методике проведения измерений. Результаты измерений осадок контролируемых грунтов анализируются и сопоставляются с итогами модельных расчетов. Указываются современные методики мониторинга, которые можно было бы применять для рассмотренного типа сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

строительная катастрофа; оползень; долговременный процесс; река; склон; земляное сооружение; откос; полигон для жидких отходов; земляная дамба; структура грунта; мониторинг; геодезический мониторинг.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кокочиньская-Пакет Э. Мониторинг земляного сооружения (пер. с англ.) // Геоинфо. 2023. № 2. С. 26–34.
doi:10.58339/2949-0677-2023-5-2-26-34.

MONITORING OF SOIL STRUCTURE

Review paper

Received 27.03.2023. Accepted 10.04.2023

© Independent electronic journal "GeoInfo", 2023

ELZBIETA KOKOCNSKA-PAKIET

Opole University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Opole, Poland,
e.kokocinska-pakiet@po.edu.pl

ABSTRACT

We bring to the attention of readers an adapted and slightly abridged translation of the report "Monitoring of soil structure" by Elzbieta Kokoczynska-Packet from the Opole University of Technology (Poland). It was made at the 7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2021, 6–10 September 2021, Prague, Czech Republic). This report was published in the conferences information package "Earth and Environmental Science" by the publishing company "IOP Publishing" of the British scientific society "Institute of Physics" (IOP), which is now virtually international. This is an open access paper. It is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 license, which allows you to translate, adapt and use it for any purpose if you give a reference to the original source and information on the types of changes. In our case, the reference [1] is given at the beginning of the list of sources. The rest of the references from the list were used by the author of the translated report.

According to the data from the Central Office of Construction Supervision, there were 5455 construction disasters in Poland between 2008 and 2019. And 4023 ones of them were caused by random events, of which 110 were caused by landslides. Most of those events took place in 2010 (there were up to 94 disaster-related landslides). The landslides have been occurring with different intensity, significantly influencing the current structure of the Earth surface.

Without human intrusion, landslides have a character of long-term processes that activate depending on the changes of natural external conditions such as ground saturation with water, area deforestation, high degradation or slopes erosion. Everyone who had contact with landslides knows that it is not a sudden phenomenon, but a process, i. e. chain of events occurring one after

another and developing with time. Therefore there is the constant necessity of getting more detailed knowledge of the mechanisms and character of the processes occurring inside the slopes. That is why slope monitoring plays such an important role in understanding the mechanisms of landslides.

The Polish standards oblige the owners of embankment structures (including on slopes) to perform inspections and monitoring of ground conditions there. In accordance with the Regulation of the Ministry of Transport, Construction and Maritime Economy (2012), such types of structures belong to the second or third geotechnical category.

In the presented paper, the monitoring of the slope with an earth dam on the top of it, which protects the liquid waste landfill facility located at a food processing plant is analyzed. In 1997, the slope was subjected to a construction disaster because of washout by the Oder River and too high irrigation of the ground structure. The slope, embankment dam and liquid waste reservoirs slid into the river and polluted it. Since the reconstruction, the slope has been subjected to constant monitoring of the external geometry and of the soil condition in the slope and in the embankment (dam) on the top of it. The paper discusses the applied monitoring methods and measurement methodology. The measured slope settlements are analyzed and compared with the results of model calculations. In conclusion, modern monitoring techniques is noted, which could be applied to this type of structures.

KEYWORDS:

construction disaster; landslide; long-term process; river; natural slope; artificial slope; soil structure; liquid waste landfill; embankment dam; soil structure; monitoring; geodetic monitoring.

FOR CITATION:

Kokocnska-Pakiet E. Monitoring ziemianego sooruzheniya (per. s angl.) [Monitoring of soil structure (translation from English)] // *GeoInfo*, 2023, № 1, S. 26–34. doi:10.58339/2949-0677-2023-5-2-26-34 (in Rus.).

Введение ▶

Нормативно-правовое законодательство Польши было приведено в соответствии с европейским законодательством после вступления страны в Европейский союз. Одним из новых введенных стандартов был Еврокод 7, касающийся геотехнического проектирования. Используя ранее, а также новые стандарты налагают на владельца земляного инженерного сооружения, включающего откос, сложенный дисперсным грунтом, обязанность проводить его мониторинг. Это означает, что такое сооружение должно регулярно (систематически) обследоваться. Такое обследование заключается в сборе и анализе качественной и количественной информации, получаемой в результате измерений и наблюдений за состоянием и поведением сооружения. Эти исследования проводятся циклически или непрерывно в течение заранее определенного периода или долгосрочно [2].

Основным методом мониторинга геотехнических сооружений является метод наблюдений. На протяжении многих лет этот метод совершенствовался и модифицировался. В качестве одного из методов мониторинга, одобренных Еврокодом 7, была принята технология наблюдений, разработанная Николсоном (Nicolson) с сотрудниками [2–4].

В настоящее время положения польского закона о строительстве [5] и постановлений соответствующих министерств [6, 7], предписывают выбор метода мониторинга строительства уже на стадии проектирования. В рамках геотехнического проектирования инженер-

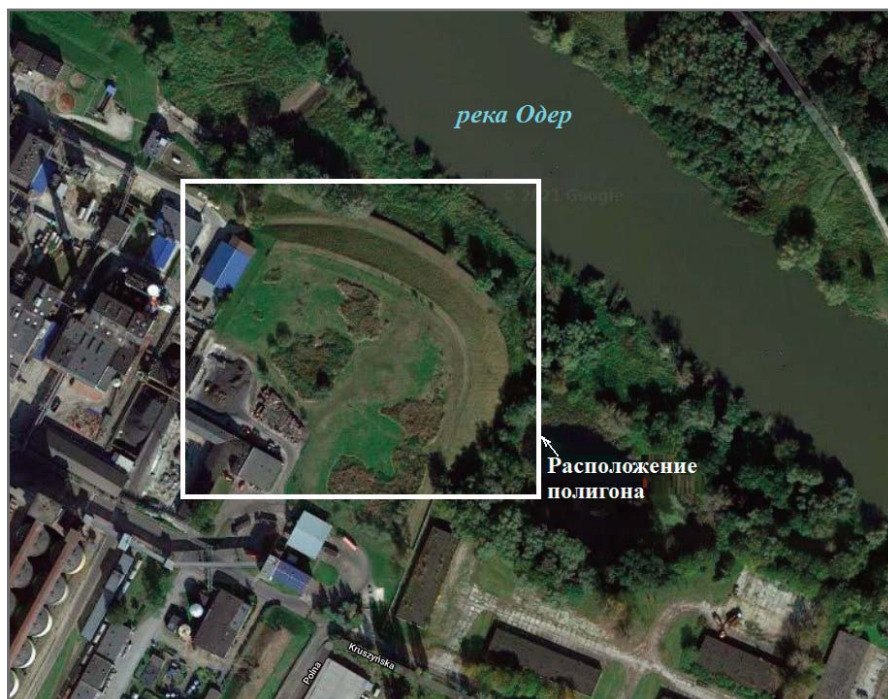


Рис. 1. Расположение изучаемого участка, включающего откос, спускающийся к реке Одер, и земляную дамбу в его верхней части, защищающей полигон для жидких отходов [10]

строитель или геотехник, имеющий соответствующую квалификацию, обязан определить, каким методом будет осуществляться мониторинг строительного объекта и какие отклонения от запроектированных параметров будут считаться допустимыми.

С 2008 по 2019 год в Польше произошло 5455 строительных катастроф. Из них 4023 были вызваны случайными событиями, из которых 110 произошли из-за оползней. Большинство из послед-

них (94) произошло в 2010 году [8]. Оползни происходили с разной интенсивностью, существенно влияя на строение поверхности земли. В естественных условиях (без вмешательства человека) это долговременные процессы, активизирующиеся в зависимости от изменений внешних природных условий, таких как водонасыщение грунта, обезлесение территорий, сильная деградация или эрозия склонов или откосов. Действительно, каждый, кто имел дело с оползнями,

знает, что это не одно внезапное явление, а процесс – цепь событий, происходящих одно за другим и развивающихся во времени. Это вызывает необходимость получения более детальных знаний о механизмах и характере процессов и явлений, происходящих в слагающих склоны или откосы грунтах. И здесь чрезвычайно важную роль играет мониторинг состояния и поведения склонов и откосов.

Объект исследований

Исследовательская работа, проведенная в период с 1997 по 2015 год кафедрой геотехники и геодезии Опольского технологического университета, включала геодезический и геотехнический мониторинг откоса, спускающегося в сторону правого берега реки Одер, и насыпной дамбы в его верхней части в промышленной зоне города Бжег (Польша). Это сооружение защищает отстойники полигона для жидких отходов предприятия пищевой промышленности от речных паводковых вод и одновременно саму реку от возможного загрязнения (рис. 1) [9]

В 1997 году из-за подмыва водами реки Одер и чрезмерного увлажнения откоса и земляной дамбы развился оползневый процесс, в результате которого это сооружение и отстойники для отходов сползли в сторону реки, загрязнив ее. После восстановительных работ ведется постоянный мониторинг внешней геометрии и состояния грунта, слагающего откос и земляную дамбу [11]. Он выполняется на основе наблюдений за множеством закрепленных на бетонных монолитах нивелирных знаков, показанных на рисунке 2 красными точками.

Геодезический мониторинг

Любые теоретические соображения должны быть подтверждены и дополнены исследованиями на компьютерных моделях и на реальном объекте. При определении изменений геометрии таких сооружений, как железнодорожные насыпи и земляные дамбы, в том числе противопаводковые или защищающие отстойники для жидких промышленных отходов, обычно применяются геодезические технологии [13, 14]. Такого рода сооружения характеризуются неоднородностью слагающих их материалов и большими размерами, что и влияет соответствующим образом на способ проведения геодезических измерений [15, 16]. Например, при исследованиях для докторской диссертации [12] в целях верификации расчетных данных для откоса, сложенного дисперсным грунтом,



Рис. 2. Размещение точек измерений при геодезическом мониторинге на рассматриваемом участке [12]

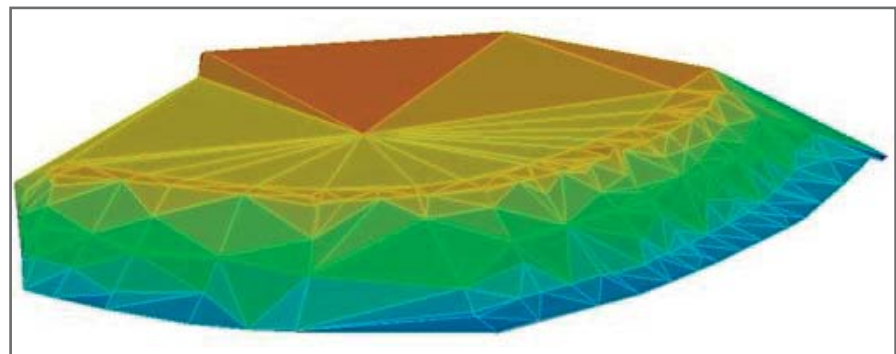


Рис. 3. Модель исследуемого откоса по данным GPS-измерений [12]



Рис. 4. Расположение точек измерений на профиле II (см. рис. 2) исследуемого откоса (фото автора)

было выполнено именно точное геометрическое нивелирование, поскольку этот метод был сочтен наиболее доступным и точным для сооружения данного типа.

Поэтому в данной работе для верификации модельных расчетов выполнялось геометрическое нивелирование – мониторинг высотных отметок точек наблюдений с повышенной точностью

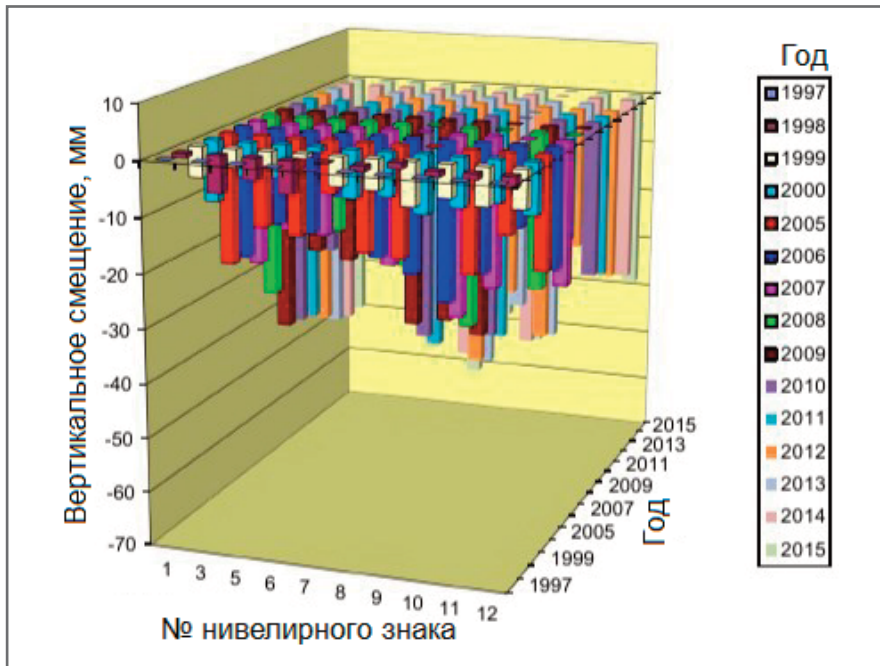


Рис. 5. Вертикальные смещения точек измерений № 1–12 (см. рис. 2) [18]

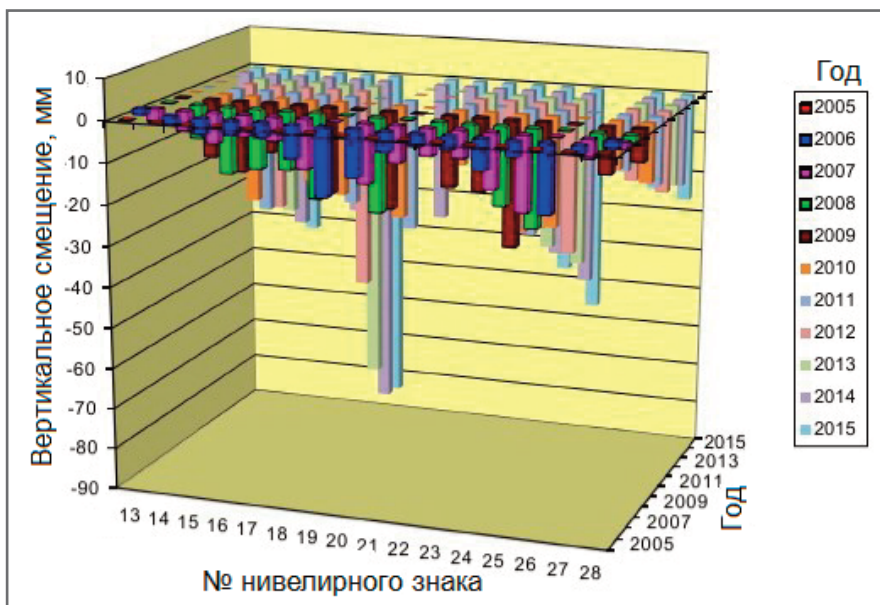


Рис. 6. Вертикальные смещения дополнительных нивелирных знаков (точек измерений № 13–28, см. рис. 2), установленных в 2005 году [18]

(с погрешностью всего $\pm 0,15$ мм). Измерения проводились с помощью высокоточного цифрового нивелира Leica NA3003 от швейцарской компании Leica Geosystems с использованием инварных нивелирных реек Leica Invar для особо точных расчетов от той же компании. Перед измерениями нивелир был проверен и настроен в соответствии со стандартом PN-ISO 17123-2:2005 [17].

Для расчетов и представления результатов использовались высотные отметки точек наблюдений в Балтийской системе высот (БСВ), в которой отсчеты

ведутся от нуля Кронштадтского футштока. В дополнение к нивелированию для определения геометрии откоса использовался GPS-приемник типа HiPer Pro от японской корпорации Topcon. На основе выполненных измерений была создана компьютерная модель, показанная на рисунке 3.

Измерения высотных отметок точек на исследуемом откосе проводятся почти ежегодно начиная с 1997 года. В какой-то момент на основе полученных результатов было установлено наличие участков, представляющих опасность

для устойчивости откоса и земляной дамбы. Поэтому на этих участках в 2005 году были установлены дополнительные нивелирные знаки. Наиболее неустойчивым оказался профиль II (см. рис. 2) с точками измерений 9 и 13–18 (рис. 4). На нем также было отмечено развитие локального оползня небольшого размера, который через некоторое время стабилизировался.

Исходно измерения проводились для ранее установленных нивелирных знаков, расположение которых определялось индивидуально и было связано со строительством и эксплуатацией исследуемого сооружения (точки 1–8). Расположение точек 9–13 (см. рис. 2) было выбрано в связи с возникновением локальной оползневой зоны. Установка следующих нивелирных знаков (14–28) была связана с обследованием откоса и зон, окружающих отстойники, в целом.

Должным образом обработанные результаты съемок представлялись в числовом (графическом) виде.

Измерения, проведенные в 2015 году, были четырнадцатью по счету для разных участков откоса, включая исходную съемку 1997 года, и семью для прудов-отстойников. Были выполнены измерения для 24 точек на откосе и для 5 точек на поверхности вокруг отстойников [18].

Результаты измерений ►

Вертикальные смещения нивелирных знаков с момента установки в 1997 году составляли к 2015 году от минус 19,5 мм (для точки 6) до минус 60,8 мм (для точки 7). Для знаков, установленных в 2005 году, результаты измерений колебались от минус 21,5 мм (для точки 22) до минус 83,5 мм (для точки 18). В 2012 году были вновь добавлены точки измерений № 13, 20, 21 и 30, так как их предшественницы были повреждены в результате работ по рекультивации отстойников. Больших вертикальных смещений в этих точках зафиксировано не было. Наибольшая осадка за многие годы съемок была отмечена для точки 7, а наименьшая – для точки 6 [18]. Результаты измерений для исследуемого земляного сооружения представлены на рисунках 5 и 6 в виде обобщенных трехмерных столбчатых диаграмм [18].

Калибровка компьютерной модели ►

Расчетная модель грунта была откалибрована с использованием результатов измерений за 1997–2010 год. Калибровка

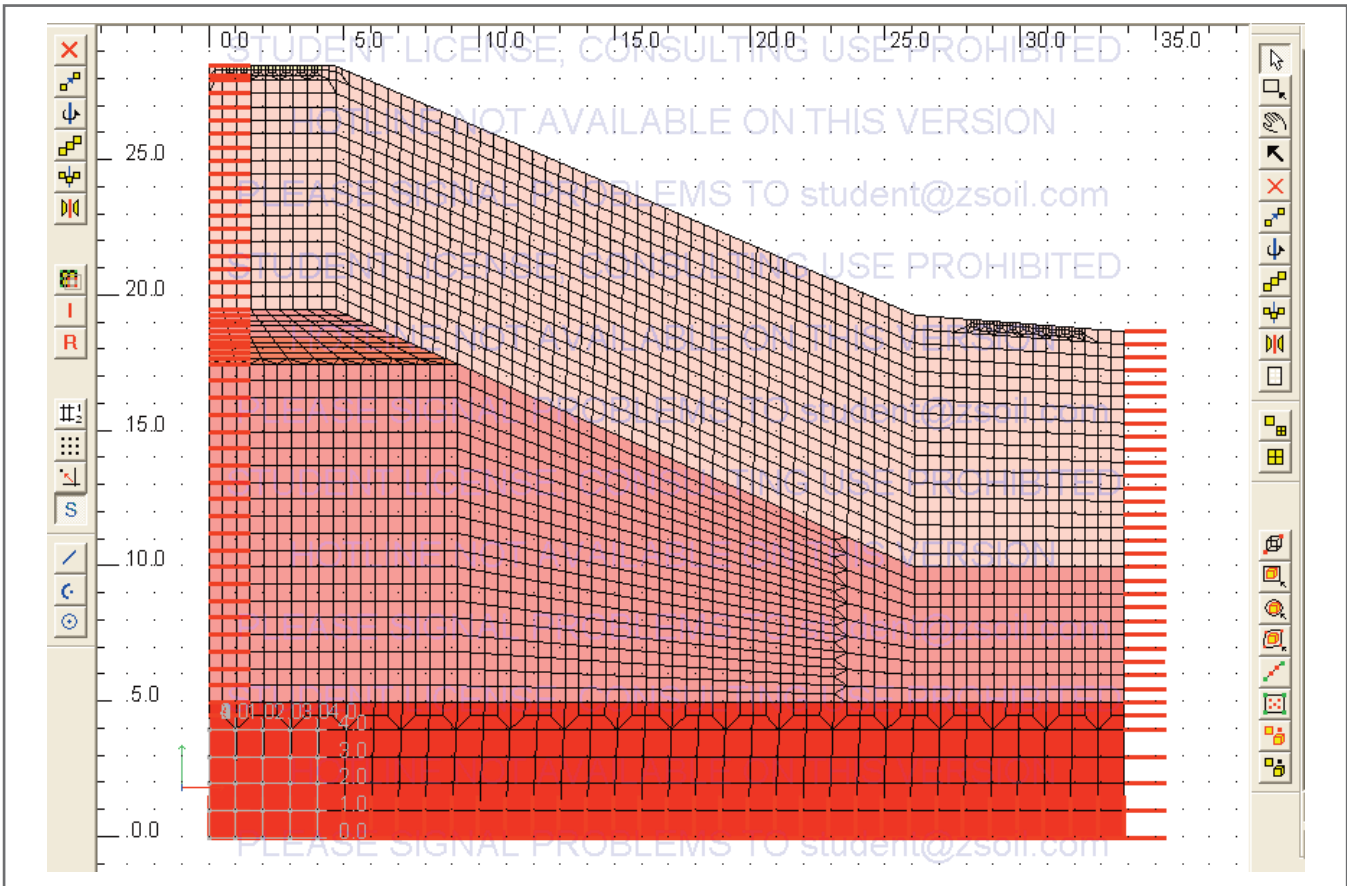


Рис. 7. Модель макроанализируемого откоса с выделенными слоями: 1 – глина; 2 – супесь; 3 – песок среднезернистый; 4 – насыпной глинисто-песчаный грунт [12] (к сожалению, автор работы [1] не пронумеровал эти слои на самом рисунке. – *Ред.*)

выполнялась в следующей последовательности.

1. Рассматриваемый откос был смоделирован в конечноэлементном программном комплексе Z_SOIL от швейцарской компании ZACE Services Ltd [19] (рис. 7). Отдельные его слои помечались как макроэлементы и разбивались на входящие в них конечные элементы таким образом, чтобы сохранялась непрерывность сетки. Система автоматически моделировала заданные условия. Были установлены шарнирно-подвижно закрепленные боковые границы и шарнирно-неподвижно закрепленная нижняя граница. Базовая расчетная модель с предельными условиями показана на рисунке 7 [20].

2. В докторской диссертации [12] был проведен анализ модели откоса, показанного на рисунках 2 и 4, для калировки модели Мора – Кулона с неассоциированным законом пластического течения. Расчеты проводились для модели, подвергавшейся пошаговому приложению нагрузок q , равных 15, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 520, 600 и 660 кПа. Материальные константы, полученные в ходе геотехнических испытаний, были вве-

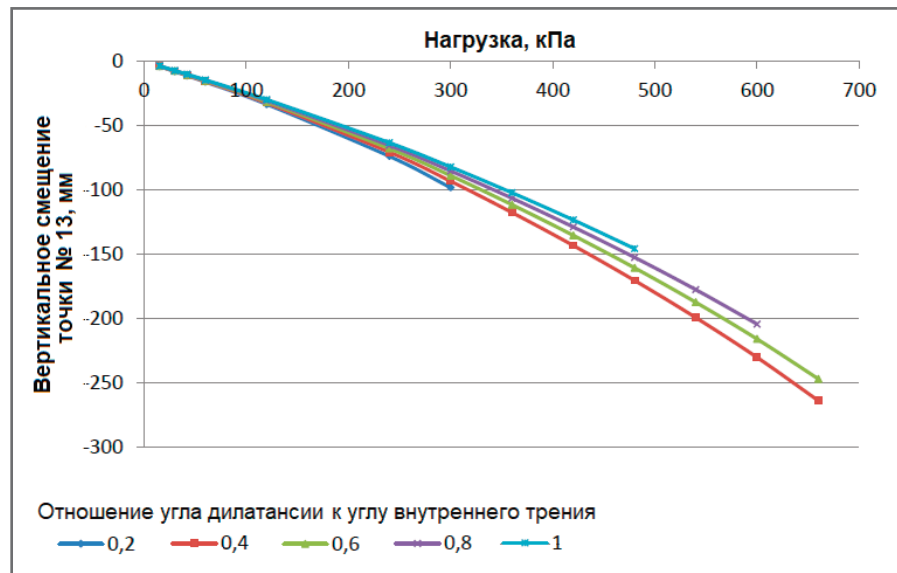


Рис. 8. Расчетные графики вертикальных смещений репрезентативной точки 13 (см. рис. 2) при ступенчато возрастающей нагрузке для разных отношений угла дилатансии к углу внутреннего трения [12]

дены в программу в качестве данных по материалам, за исключением такого дополнительного параметра, как относительный угол дилатансии (выраженный через эффективный угол внутреннего трения ϕ'). В рамках калировки модели проводились расчеты с заданной

нагрузкой для следующих относительных значений угла дилатансии (ψ'): $0,2\phi'$; $0,4\phi'$; $0,6\phi'$; $0,8\phi'$. Расчеты выполнялись также для ассоциированного закона пластического течения, когда угол дилатансии равен углу внутреннего трения ($\psi' = 1\phi'$).

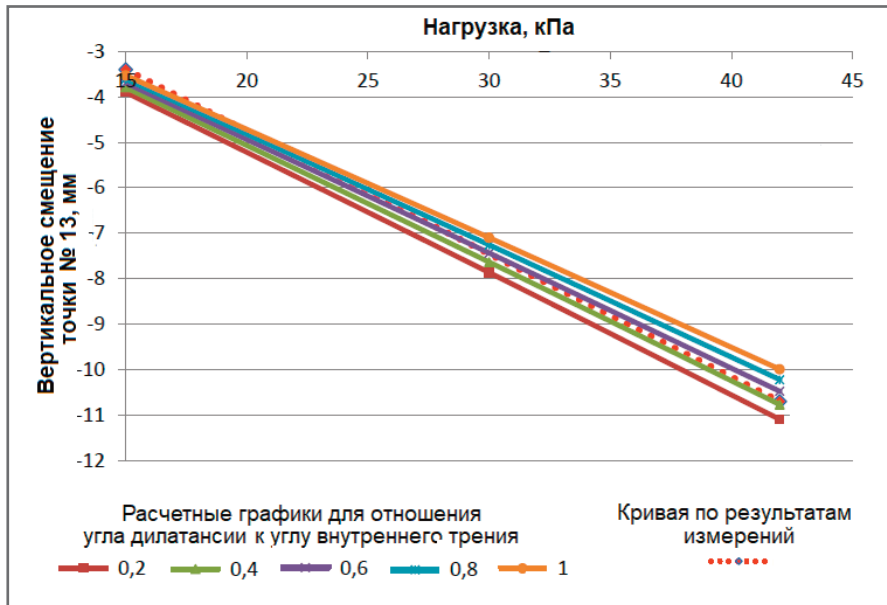


Рис. 9. Сопоставление развития расчетных и измеренных вертикальных смещений репрезентативной точки 13 (см. рис. 2) в зависимости от нагрузки [12]

3. В качестве репрезентативной была выбрана точка измерений 13 (см. рис. 2). Для этой точки были рассчитаны вертикальные смещения при пошаговом увеличении нагрузки. На рисунке 8 представлены полученные графики разных цветов, соответствующие разным отношениям угла дилатансии к углу внутреннего трения (Ψ'/ϕ'). Как видно из рисунка 8, не при каждом отношении получались полные кривые «нагрузка –

осадка». Как правило, чем раньше заканчивался график, тем ближе к нулю или единице было его значение. Наиболее протяженные кривые были получены для относительных углов дилатансии 0,4 ϕ' и 0,6 ϕ' .

4. Критерием калибровки была совместимость теоретической кривой «нагрузка – осадка» для репрезентативной точки 13 с результатами геодезических измерений. В процессе измерений был

некоторый период, когда проводилась рекультивация отстойников, расположенных над откосом (см. рис. 1, 2). В то время на откосе стояли грузовики с прицепами, нагруженными реагентом для рекультивации земель. Это было использовано для измерения вертикальных смещений в ответ на увеличение нагрузки геодезическим методом. При первом приложении нагрузки в 15 кПа стартовое смещение репрезентативной точки 13 составило минус 3,4 мм. Суммарная нагрузка во время рекультивационных работ составила 42 кПа. Общее увеличение смещения при этом достигло 7,3 мм. Данные мониторинга были сопоставлены с результатами расчетов для разных углов дилатансии (рис. 9).

5. На основании сопоставления кривых, построенных по теоретическим и реальным данным, был сделан вывод, что наилучшее соответствие теоретических оценок результатам измерений достигается при угле дилатансии, равном 0,2 ϕ' (возможно, в легенде к рисунку 9 авторами работы [1] перепутаны цвета графиков для 2 ϕ' и 0,4 ϕ' , потому что на этом рисунке ближе всего к мониторинговой кривой проходит расчетный график для 0,4 ϕ' . – *Ред.*). Чтобы убедиться в этом, были проведены дополнительные расчеты смещений точки 13 при отношениях угла дилатансии к углу внутреннего трения 0,1; 0,15; 0,3 и 0,35. Во всех этих случаях отклонения были выше.

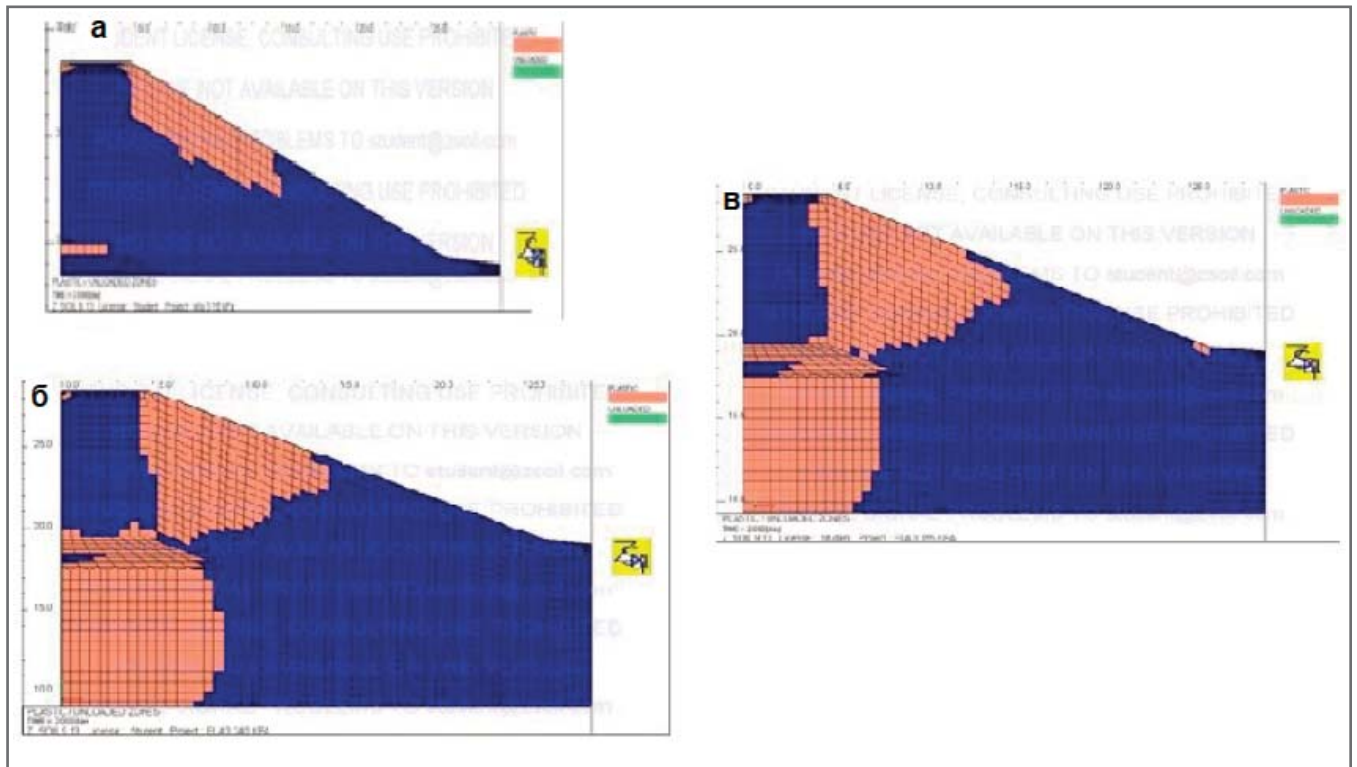


Рис. 10. Распределение зон пластических деформаций на разрезе рассматриваемого откоса при нагрузках 15 кПа (а); 240 кПа (б) и 355 кПа (в)

Полученные результаты ►

Данные измерений были сопоставлены с результатами расчетов, выполненных в программном комплексе Z_Soil. В этой программе были созданы карты развития пластических зон для принятого эффективного угла дилатансии $\Psi'=0,2\phi'$. Для модели откоса, показанной на рисунке 7, был построен график развития зон пластических деформаций при нагрузках 15; 240 и 355 кПа. Эти значения были пределами, рассмотренными для модели Мора – Кулона с неассоциированным законом пластического течения.

Полученные результаты показаны на рисунке 10 в виде разреза рассматриваемого откоса при трех вышеуказанных нагрузках. Как видно из рисунка 10, а, на откосе образуется локальная зона, устойчивость которой может быть нарушена (обозначенная на разрезе ко-

ричевато-розовым цветом). Эта зона медленно развивается при следующей нагрузке (рис. 10, б). Ее развитие согласуется с локальным оползнем, наблюдавшимся в реальности, который позже стабилизировался (рис. 10, в).

Заключение ►

Мониторинг земляных сооружений в настоящее время представляет собой очень сложный тип различных мероприятий с обширным охватом. Такой мониторинг включает в себя не только геодезические измерения, но и исчерпывающие испытания грунтов, слагающих сооружение, с определением оползневых зон. В последние годы произошло значительное развитие методов исследований, используемых при мониторинге.

Прежде всего здесь следует упомянуть о возможности удаленной передачи

данных, описанной в работах [14, 21, 22]. Для точного мониторинга поверхности земляных сооружений применяется лазерное сканирование, как подробно рассказано в публикациях [22, 23]. В системах мониторинга таких сооружений также используются инклинометры, оптоволоконные или другие датчики смещений.

Из различных методов мониторинга геодезические измерения смещений выбранных точек, пожалуй, является самыми популярными и наиболее часто используемыми в основном из-за их невысокой стоимости. Геодезические методы можно использовать не только для наблюдений за смещениями земляных сооружений, но и для калибровки математических моделей, применяемых для расчетов и проверки устойчивости откосов. ■

Список литературы (references) ►

1. Kokocinska-Pakiet E. Monitoring of soil structure // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 906. Proceedings of the 7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2021), 6–10 September 2021, Prague, Czech Republic. Article 012055. DOI:10.1088/1755-1315/906/1/012055. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/906/1/012055.
2. Borecka A., Stopkowicz A., Sekula K. Observation method and geotechnical monitoring in view of legal regulations to assess behaviour of foundation and engineering structures // Prz. Geol. 2017. Vol. 65. № 10. P. 685–691 (in Polish).
3. PN-EN 1997-1:2005. Eurokod 7. Geotechnical design. Part 1. General rules. 2005 (in Polish).
4. PN-EN 1997-2:2007. Eurokod 7. Geotechnical design. Part 2. Ground investigation and testing. 2007 (in Polish).
5. Construction law – Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. z póź. zmianami. Warszawa, 2021 (in Polish).
6. Regulation of Minister for Transport, Construction and Marine Economy of 25 April 2012 on establishing geotechnical conditions for foundation of construction objects. Warszawa, 2013 (in Polish).
7. Regulation of the Minister of Environment of April 20, 2007 on technical conditions to be met by hydrotechnical structures and their location. Warszawa, 2019 (in Polish).
8. General Inspectorate of Construction Supervision “Building Disasters 2008–2019”. Warszawa, 2008–2019 (in Polish).
9. Anigacz W., Kokocinska-Pakiet E. Long-term monitoring for settlement of earth dam // Life-Cycle of Structural Systems: Design, Assessment, Maintenance and Management. London: Taylor and Francis Group, 2015. P. 195–199.
10. Google Earth. 2021 (online).
11. Szostak-Chrzanowski A., Massiera M., Muma M., Whitaker C. Geotechnical aspects of earth dam deformation monitoring // Proceedings of the 9th FIG Int. Symp. Deform. Meas. 1999. Vol. 1.
12. Kokocinska-Pakiet E. Elastic-plastic slope stability analysis using the incremental load increase method. Opole, Poland: Opole University of Technology, 2010 (in Polish).
13. Anigacz W., Drozdol K., Kokocinska-Pakiet E. Examination of an earth slope settlement // AGH J. Min. Geoengin. 2012. Vol. 36. № 2. P. 43–48.
14. Song Z., Xin X. Review of landslide monitoring // Appl. Mech. Mater. 2012. Vol. 166–169. P. 2821–2827.
15. Szostak-Chrzanowski A., Massiera M. Relation between monitoring and design aspects of large earth dams // Proceedings of the 3rd IAG/12th FIG Symp. Bad., 2006.
16. Tos C., Wolski B., Zielina L. Geodetic monitoring of a geotechnical object // Geoinżynieria. 2008. Vol. 3. № 18. P. 68–73 (in Polish).
17. PN-ISO 17123-2:2005. Optyka i instrumenty optyczne. Terenowe procedury testowania instrumentów geodezyjnych i pomiarowych. Czesc 2: Niwelatory. Warszawa, 2005 (in Polish).
18. Anigacz W., Beben D., Kokocinska-Pakiet E., Drozdol K. Assessment of the technical condition of structures – slopes of bleed earth sedimentation tanks. Geodetic measurements of scarp settlement and bleaching earth storage area – monitoring of the storage site. Opole, Poland, 1997–2015 (in Polish).

19. Z_Soil.PC: Theoretical Manual, Elmepress International & ZACE Services LTD (Z_Soil 2011 Student v11.07). Lozanna, Switzerland, 2000.
20. Zienkiewicz O.C., Taylor R., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. New York, USA: Elsevier, 2005.
21. Wu Y., Niu R., Lu Z. A fast monitor and real time early warning system for landslides in the Baige landslide damming event, Tibet, China // Natural Hazards and Earth System Sciences. March, 2019. P. 1–20. DOI:10.5194/nhess-2019-48. URL: nhess.copernicus.org/preprints/nhess-2019-48/nhess-2019-48.pdf.
22. Elavarasi K., Nandhini S. Landslide monitoring and tracking using iot sensors // J. Phys. Conf. Ser. 2021. Vol. 1717. № 1.
23. Kogut J.P., Pilecka E. Application of the terrestrial laser scanner in the monitoring of earth structures // Open Geosci. 2020. Vol. 12. № 1. P. 503–517.
24. Zaczek-Peplinska J., Adamek A., Osinska-Skotak K., Adamek A. Inventory of the control gallery and overflow of the Klimkowka earthen dam using the laser scanning method // Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Warszawa, 2012. Vol. Monografia, P. 147–163 (in Polish).

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.**



WWW.GEOINFO.RU

ООО НПП «ГЕОТЕК» - ВЕДУЩИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ, МЕРЗЛЫХ, КРУПНООБЛОМОЧНЫХ И СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ.

ПРИБОРЫ КРИОЛОГИЧЕСКИЕ СЕРИИ СТАНДАРТ

ХИТ продаж

Прибор компрессионный криологический ГТ 1.1.11



Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14



Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2



Температура окружающей среды **+5 (±2) С°**

Прибор разработан для эксплуатации в холодильной камере (камера не входит в состав прибора)

ВОЗМОЖНОСТИ:

- автоматизированный режим испытания с поддержанием заданной отрицательной температуры каждого образца;
- прибор работает при пониженных температурах;
- автоматическое управление температурой образца;
- испытание до трех образцов в одном приборе;
- измерение температуры каждого образца.

ПРИБОРЫ ОБЕСПЕЧИВАЮТ ПРОВЕДЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ:

- **Прибор компрессионный криологический ГТ.1.1.11**
-испытание по ГОСТ 12248.10-2020 на сжатие и сжатие с оттаиванием;
- **Прибор срезной криологический ГТ 1.2.14**
-испытания по ГОСТ 12248.8-2020 на срез по поверхности смерзания;
-испытания по ГОСТ Р56726-2015 по определению касательных сил морозного пучения;
- **Прибор шариковый штамп криологический ГТ 1.6.2**
-испытания по ГОСТ 12248.7-2020 шариковым штампом.

ПОЧЕМУ ВЫБИРАЮТ НАС



Высокое качество



Выгодная цена



Надежный сервис



Экономия бюджета испытаний

440004, Россия, г. Пенза, ул. Центральная, строение 1М,
+7(8412) 999-189, 8-800-200-16-05 (звонок по России бесплатный),
sales@npp-geotek.ru, npp-geotek.com

*На правах рекламы