Мониторинг насыпной дамбы, возводимой в МТП Усть-Луга на слабом грунтовом основании

Д.т.н., профессор Б.В. Балашов;
к.т.н., доцент Н.Д. Беляев*;
к.т.н., доцент Е.Б. Михаленко,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;
главный инженер проекта Т.А. Тазеев,
ЗАО «ГТ Морстрой»

Ключевые слова: мониторинг; безопасность; дамба; слабые грунты; осадки

Грунтовые сооружения являются одним из наиболее распространенных типов гидротехнических сооружений (ГТС), весьма ответственным с экономической и экологической точек зрения. Обеспечению надежности и безопасности таких сооружений следует уделять значительное внимание.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на надежность и безопасность насыпных и намывных сооружений, являются процессы, происходящие при уплотнении их тела в течение строительства и при эксплуатации. Особенно это значимо при наличии в основании сооружений слабых сильносжимаемых грунтов.

Получить данные о состоянии грунтовых сооружений и о происходящих в них процессах можно путем мониторинга в натурных условиях. Такие работы проводились на ряде зарубежных объектов строительства, сооружение которых велось на слабых грунтах [1-6]. Статьи [1, 2] посвящены исследованиям земляной дамбы Карамех общей высотой 45 м, прилегающей к реке Иордан на восточном берегу рифтовой долины. Строительство дамбы вызвало избыток порового давления воды в слабых грунтах, подстилающих основание сооружения. Дамба возводилась в несколько этапов для достижения требуемого уровня безопасности и для возможности контроля развития осадков.

Материалы диссертации [5] основаны на измерениях осадок земляной дамбы на реке Таасяньеки в течение 15 лет.

Книга [6] посвящена вопросам проектирования, мониторинга и поведения крупных насыпей и дамб под водой, в ней приведено подробное описание реального случая из практики поэтапного возведения насыпи, при котором развивалась консолидация, вызывающая увеличение недренированной прочности грунтов основания. В основание изучаемой насыпи были внедрены датчики порового давления и датчики вертикальных и горизонтальных перемещений грунта.

Анализ литературы показал, что, несмотря на большой накопленный опыт строительства и эксплуатации насыпных гидротехнических сооружений, и немалое число исследовательских работ, посвященных сооружениям этого типа, нередки еще случаи ненормативных деформаций как самих дамб, так и объектов, находящихся на их поверхности, в процессе или по завершению строительства.

Поэтому совершенствование методики измерения осадок насыпных ГТС и получение результатов долговременных натурных измерений с их анализом являются актуальными и имеют большое практическое значение для прогнозирования возможных осадок и, следовательно, для повышения безопасности объектов на слабом основании.

Объектом настоящего исследования являются ГТС в составе 1-й очереди строительства причального фронта Комплекса по перегрузке сжиженных углеводородных газов в Морском торговом порту (МТП) Усть-Луга, возводимые на открытой прибрежной части акватории южной стороны Усть-Лужской губы.

В соответствии с требованиями СНиП 33-01-2003 класс проектируемых причалов – II, срок службы – 50 лет. Класс сооружений, входящих в комплекс, от которых зависит его бесперебойная работа, также принят II.

Цель мониторинга состояла в контроле состояния безопасности строящихся ГТС и оценке их воздействия на окружающую среду [7-9]. Мониторинг проводился с октября 2010 г., при этом основное внимание в период 2010 – 2011 г.г. уделялось контролю осадок насыпной подходной дамбы, возводимой пионерным способом.

Инженерно-геологические условия в месте строительства ГТС характеризуются преобладанием в разрезе плотных, реже средней плотности песков, переслаивающихся с суглинками от мягкопластичной до твердой консистенции водно-ледникового происхождения. Ледниковые супеси пластичной консистенции распространены не повсеместно в виде линз различной мощности. Наиболее слабые грунты, представленные текучими суглинистыми и глинистыми илами мощностью до 20... 25 м выявлены в районе размещения берегового участка подходной дамбы, илы находятся в нестабилизированном состоянии.

Подходная дамба включает береговую часть от места сопряжения с береговой подъездной автодорогой до нулевой изобаты, совпадающей с границей выемки торфа, имеющую длину около 846 м, и морскую часть, имеющую длину по верху сооружения около 612 м.

Береговая часть подходной дамбы, в соответствии с проектными решениями, представляет собой откосное сооружение из насыпного песка с креплением откосов камнем массой 20…40 кг, уложенным по геотекстилю, с наружным откосом 1:2 и имеющее в основании упорную призму высотой 1,00 м из камня той же крупности и того же уклона.

Морская часть подходной дамбы запроектирована откосного типа с креплением сортированным камнем различной крупности по длине дамбы, а также тетраподами массой 1,5 т в головной части дамбы. В головной части дамбы для уменьшения проницаемости откосов при креплении тетраподами предусмотрена установка подпорных стенок из сборного железобетона. Крепление откосов предусмотрено с использованием геотекстиля «Геотекс» С500 в качестве обратного фильтра. Для защиты от размывов дна перед сооружением предусмотрено крепление дна отсыпкой камня массой 15…20 кг и габионами тюфячного типа.

В голове подходной дамбы устраивается береговой устой из монолитного железобетона на свайном основании из стальных труб диаметром 1020 мм с толщиной стенки 12 мм. Береговой устой является фундаментом для металлических пролетных строений эстакад.

Отметка верха тела подходной дамбы, с учётом верхнего покрытия автодороги дорожными плитами, составляет +3,00 БС. Отметка верха защитного крепления береговой части дамбы определена с учетом подъёма уровня воды до отметки +1,56 м (5% обеспеченность 1 раз в 20 лет), а также наката прибойных волн на откос и составляет +4,5 м БС.

С учётом консолидации илистых грунтов в основании береговой части подходной дамбы, проектом предусматриваются длительные осадки (до 0,70 м) верха дамбы.

Настоящий мониторинг проводился с учётом требований действующих нормативно-технических документов, согласно приказу [10], использовалась также документация, предусмотренная проектными материалами.

В состав работ по мониторингу входили:

- разработка и согласование годовой рабочей программы проведения мониторинга;
- наблюдения за деформациями подходной дамбы геодезическими методами [11-13];
- анализ соответствия строящихся сооружений проектной и рабочей документации;
- прогнозирование соответствия фактических условий эксплуатации ГТС и состояния прилегающей акватории выводам и рекомендациям, содержащимся в Декларации безопасности запроектированных ГТС Комплекса;
- наблюдения за обеспечением природоохранных мер при строительстве ГТС.

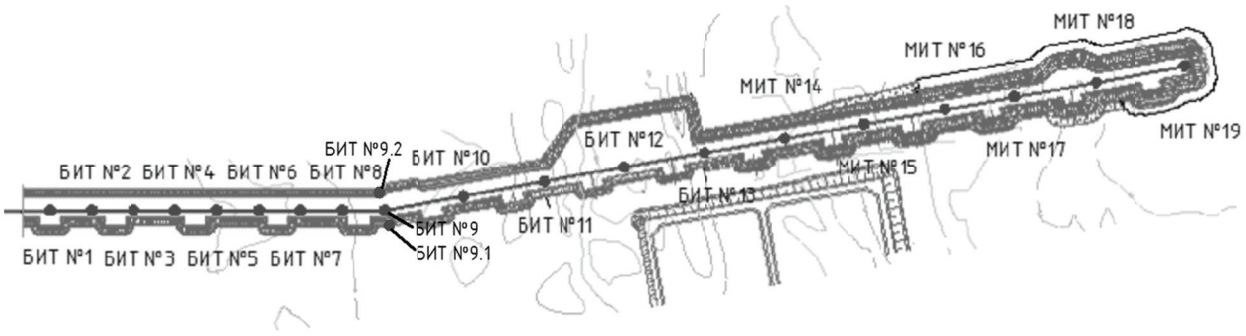

Рисунок 1. План подходной дамбы с местами расположения БИТ и МИТ

Для обеспечения мониторинга деформаций подходной дамбы были разработаны чертежи измерительных геодезических марок, которые позволяли проводить измерения осадок верха дамбы (поверхностные марки) и осадок грунтового основания (глубинные марки), устанавливаемых совместно в измерительных точках. Места размещения береговых (БИТ) и морских (МИТ) измерительных точек на подходной дамбе были назначены вблизи опор под технологические трубопроводы, поскольку места размещения этих трубопроводов являются наиболее ответственными участками подходной дамбы, влияющими на безопасность функционирования технологического оборудования Комплекса. Расстояния между измерительными точками выбраны с учётом изменения мощности слабых грунтов в основании по длине подходной дамбы (рис. 1). По мере отсыпки тела подходной дамбы в ноябре 2010 года были установлены глубинные и поверхностные марки в измерительных точках БИТ №№ 1…9 (рис. 2, 3).

Рисунок 2. Глубинная и поверхностная марки до установки

Рисунок 3. Первоначальный вид БИТ после установки

В апреле 2011 года были установлены измерительные точки второй очереди БИТ №№ 10…13, МИТ №№ 14…19, в июле 2011 года были установлены две марки выпора БИТ №№ 9.1, 9.2 (рис. 4).

Для защиты глубинных и поверхностных марок от негативных внешних воздействий (наезда строительной техники, засыпки песком и камнем и т.п.) установлены бетонные кольца с металлическими люками и дополнительно временные ограждения из деревянных стоек и бетонных элементов.

Методика проведения измерений осадок дамбы заключалась в нивелировании контрольных марок и последующем сопоставлении результатов измерений для выявления деформаций сооружения и подстилающего грунтового основания [14]. Измерения деформаций дамбы проводились с точностью до 2 мм, что соответствовало требованиям СНиП 3.01.03-84 [12]. Измерения перемещений мерных элементов поверхностной и глубинной марок выполнялись в соответствии с ГОСТ 24846-81 [15].

Рисунок 4. БИТ № 9.1

По измерительным створам был разбит нивелирный ход от одного опорного репера к другому. Первое по времени измерение отметок поверхностных и глубинных марок было взято за основу, относительно которой определялись изменения отметок марок при последующих геодезических измерениях. Осадка каждой марки определялась как разность между измеренным высотным положением марки и её первоначальным высотным положением. Согласно табл. 2 [15] принимается II-й класс точности проведения измерений методом геометрического нивелирования с обустройством временных репера и станций нивелирования. Для проведения измерений были использованы следующие поверенные приборы (рис. 4, 5):

- цифровой нивелир Leica Sprinter 100m со штрихкодовой рейкой GSS 111;
- электронный тахеометр Pentax R 325NX с комплектующими.

Рисунок 4. Снятие отсчета с помощью штрихкодовой рейки GSS 111. Вид на БИТ после установки

Рисунок 5. Электронный тахеометр Pentax R 325NX. Общий вид морского участка дамбы

В результате проведения геодезических работ на подходной дамбе в период с ноября 2010 г. по декабрь 2011 г. выявились некоторые особенности применения указанных приборов [16, 17]. Можно отметить, что, несмотря на выявленные неудобства работы с приборами и зависимость измерений от внешних факторов, данное геодезическое оборудование позволяет производить измерения на требуемом уровне.

На береговом участке дамбы в период первых двух месяцев измерения проводились с периодичностью в среднем 1 раз в 10 дней, в последующие месяцы по согласованию с Заказчиком строительства периодичность измерений была увеличена до 1 раза в месяц, в связи со стабилизацией скорости осадок дамбы. Обобщенные результаты измерений осадок глубинных и поверхностных марок по всем измерительным точкам подходной дамбы приведены на рис. 6, 7.

Расчетный прогноз осадок дамбы производился по рекомендациям, позволяющим оценивать временный характер стабилизации грунтового основания.

Согласно главе 11 «Проектирование оснований на сильносжимаемых и насыпных грунтах» справочника проектировщика [18], стабилизировавшаяся осадка S слоя водонасыщенного сильносжимаемого грунта, пригруженного фильтрующим слоем, определяется по формуле:

$$S = \frac{3PH}{3E + 4P},$$

где P – среднее давление на грунт от песчаной насыпи; H – мощность слоя сильносжимаемого грунта, м; E – модуль деформации грунта естественного сложения, МПа.

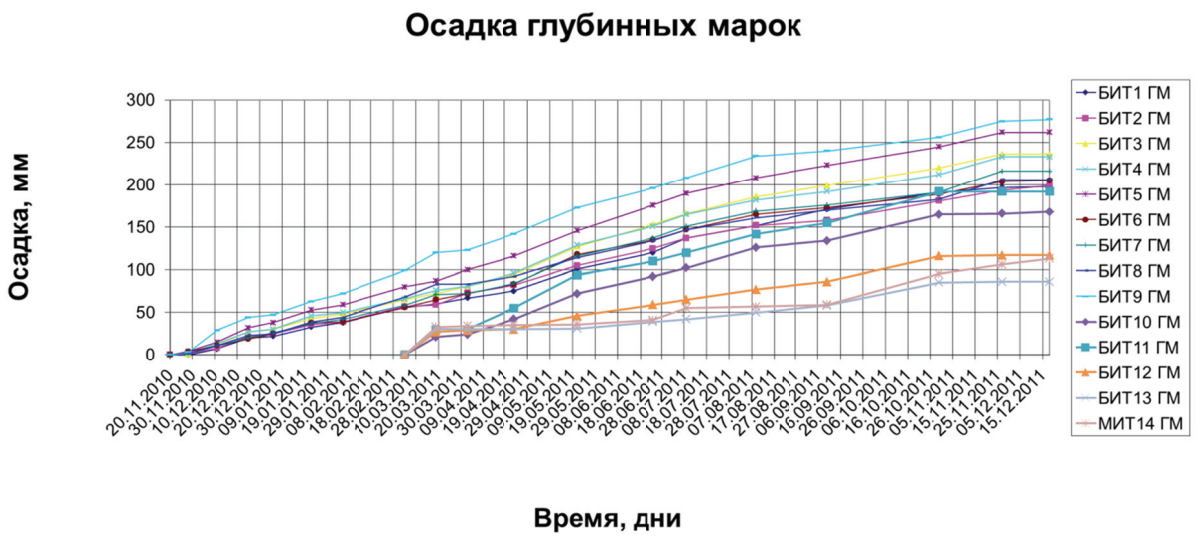

Рисунок 6. График изменения во времени осадок первого слоя отсыпки тела подходной дамбы СУГ по данным измерений положения глубинных марок

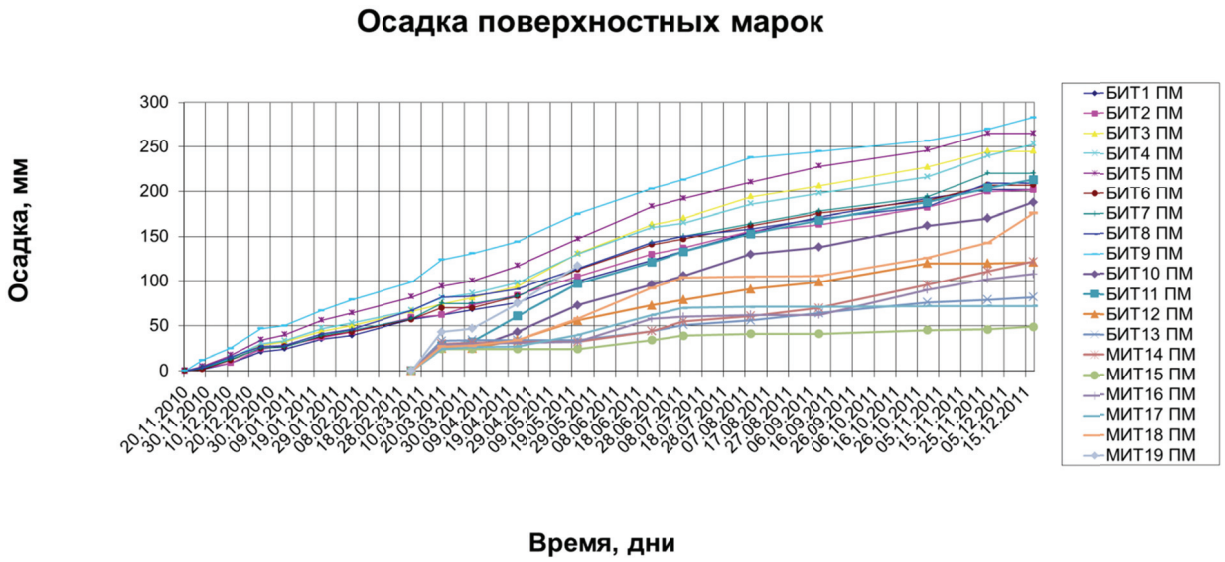

Рисунок 7. График изменения во времени осадок первого слоя отсыпки тела подходной дамбы СУГ по данным измерений положения поверхностных марок

Осадка S_t недренированного слоя сильносжимаемого грунта в заданный момент времени вычисляется по выражению:

$$S_t = Q_V S ,$$

где Q_V – степень консолидации сильносжимаемого грунта, определяется по графику зависимости от фактора времени T_V (см. рис. 2.2 [18]), который может быть найден по формуле:

$$T_V = c_V t / h^2 ,$$

где c_V – коэффициент консолидации грунта при вертикальном фильтрационном потоке, м²/год, который необходимо определять при инженерно-геологических изысканиях; для учёта неоднородности подстилающих слоёв грунта в расчетах использовалось средневзвешенное значение коэффициентов консолидации; t – продолжительность приложения нагрузки P; h – длина пути фильтрации, принимаемая равной половине толщины сильносжимаемого слоя грунта с учётом двусторонней фильтрации относительно продольной оси дамбы.

Производился расчет деформации каждого подстилающего слоя грунтового основания с использованием установленной степени консолидации, и определялась текущая осадка сооружения S_t. Поскольку зафиксированная текущая осадка дамбы оказалась существенно больше расчетной величины, можно сделать вывод о значительном влиянии характера ведения строительных работ, прежде всего движения по дамбе тяжелой строительной техники, на степень консолидации грунта Q_V. Рекомендации по учёту динамического характера нагрузок от автомобильного транспорта даны в Пособии [19]. Согласно этому документу, когда отсутствуют данные компрессионных испытаний грунтов, для прогнозов осадок можно воспользоваться представленными в приложении характерными (табличными) значениями модуля деформации для той или иной разновидности слоя слабого грунта. Осадка слабой толщи в пределах активной зоны при использовании модуля деформации рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{PH}{E_{\text{ср}}},$$

где $E_{\text{ср}}$ – средневзвешенный штамповый модуль деформации сжимаемой толщи, с последующей корректировкой значения $E_{\text{ср}}$ по данным мониторинга фактических осадок в период интенсивного воздействия динамических нагрузок.

После получения данных натурных измерений осадок дамбы за весь период строительства комплекса в целом предполагается построить уточнённую зависимость степени консолидации грунта Q_V от фактора времени T_V, и с её помощью дать уточнённую оценку характера осадок сооружения в период эксплуатации.

На основании проведенных работ по мониторингу и при анализе его результатов можно сделать следующие выводы.

1. Измеренные осадки дамбы значительно превосходят расчетные величины. Годовая осадка участка дамбы на слабом грунтовом основании составила в среднем 20…25 см, при изменении скорости осадок от 30… 50 мм/месяц в конце 2010 г. до 20…30 мм/месяц в конце 2011 г. [16].
2. Выявлено существенное влияние работы строительной техники на осадку берегового участка дамбы, в связи с относительно небольшой высотой тела дамбы (не более 2,0…2,5 м) [19]. В период снижения интенсивности работы техники скорость осадок на береговом участке дамбы уменьшалась. Такие характерные периоды отмечены в начале января и в декабре 2011 г.
3. Сопоставление данных измерений по глубинным и поверхностным маркам показывает, что осадки в основном происходили за счет консолидации подстилающего грунта основания.
4. Возведение тела дамбы в два слоя, с высотой первого слоя около 2,0 м, при высоких темпах отсыпки песчаного грунта и при строительных нагрузках, соответствующих расчётным статическим эксплуатационным нагрузкам и имеющим увеличенную динамическую составляющую, в целом обеспечило безопасные условия консолидации слабых грунтов основания в самый ответственный период его нагруженного состояния, когда наиболее высок риск превышения допустимой фильтрационной скорости движения воды при консолидации илов.
5. Значительные осадки на береговом участке подходной дамбы могут повлиять на безопасность размещаемого технологического оборудования, прежде всего продуктопроводов, в связи с чем необходим дальнейший мониторинг ГТС.

Литература

1. Al-Homoud A. S., Tanash N. Monitoring and analysis of settlement and stability of an embankment dam constructed in stages on soft ground // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2001. Vol. 59. № 4. Pp. 0259-0284.
2. Al-Homoud A.S., Tanash N. Modeling uncertainty in stability analysis for design of embankment dams on difficult foundations // Engineering Geology. 2004. T. 71. № 3-4. Pp. 323-342.
3. Bo Myint Win. Compressibility of ultra-soft soil. NJ: World Scientific, 2008. 287 p.
4. Soft soil engineering: proceedings of the Fourth International Conference on Soft Soil Engineering. Vancouver, 2007. 786 p.
5. Loukola E. J. Simulation of a test embankment on a clay foundation according to critical state models. 1998. Degree: Dr.Tech. DegreeYear: 1996. Institute: Teknillinen Korkeakoulu (Helsinki) (Finland). Publisher: Finnish Environment Institute, P.O.B. 140, 00251 Helsinki, Finland.
6. Van Impe W. F., Verastegui Flores R. D. Underwater Embankments on Soft Soil: a case history. UK: Taylor & Francis, 2011. 151 p.
7. Альхименко А. И., Беляев Н. Д., Фомин Ю. Н. Безопасность морских гидротехнических сооружений. СПб.: Лань, 2003. 288 с.
8. Декларация безопасности проектируемых гидротехнических сооружений Комплекса по перегрузке сжиженных углеводородных газов (СУГ). Корректировка. Шифр 47.01.3.626.08-884-ДБГ. Том 12.4, ЦБВО АЦИА. СПб., 2011.
9. Пособие по производству и приёмке работ при строительстве новых, реконструкции и расширении действующих гидротехнических морских и речных транспортных сооружений (к СНиП 3.07.02-87) / Минтрансстрой СССР: М., 1991.
10. Об утверждении раздела I «Технологический, строительный, энергетический надзор» Перечня нормативных правовых актов и нормативных документов, относящихся к сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по состоянию на 1 июля 2011 года. Приказ Ростехнадзора от 28 июля 2011 г. № 435.
11. Беляев Н. Д., Вилькевич В. В. Экспертиза технического состояния морских гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2007. № 5. С. 37-45.
12. СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. Госстрой СССР, 1985.
13. СНиП 3.07.02-87. Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения. М.: Госстрой СССР, 1987.
14. Фахрутдинов М. Р., Ялышев А. И., Беляев Н. Д., Михаленко Е. Б. Методика проведения измерений на подходной дамбе Комплекса СУГ в Усть-Луге // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции. Ч. I. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 50-52.
15. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерений деформаций зданий и сооружений. Москва, 1986.
16. Фахрутдинов М. Р., Ялышев А. И., Беляев Н. Д., Балашов Б. В. Анализ осадок подходной дамбы Комплекса СУГ в Усть-Луге // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции. Ч. I. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 52-53.
17. Фахрутдинов М. Р., Ялышев А. И., Беляев Н. Д., Михаленко Е. Б. Использование современного геодезического оборудования при измерении осадок на подходной дамбе Комплекса СУГ в Усть-Луге // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции. Ч. I. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 335-336.
18. Горбунов-Посадов М. И. [и др.] Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1985. 480 с. (справочник проектировщика)
19. Пособие к СНиП 2.05.02-85 по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. Введено в действие распоряжением Минтранса России № ОС-1067-р от 03.12.2003. Москва. 1991.

**Николай Дмитриевич Беляев, Санкт-Петербург, Россия*

Тел. раб.: +7(812)297-59-54; эл. почта: dnd@mail.ru

© Балашов Б.В., Беляев Н.Д., Михаленко Е.Б., Тазеев Т.А., 2012

doi: 10.5862/MCE.30.2

Monitoring of fill dam constructed in Ust-Luga on soft foundation soils

B.V. Balashov
Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
N.D. Belyayev
Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
E.B. Mikhalenko
Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
T.A. Tazeyev
ZAO «GT Morstroy», Saint-Petersburg, Russia
+7(812)297-59-54; e-mail: dnd@mail.ru

Key words

Monitoring; safety; dam; rotten soils; settling

Abstract

Improvement of fill dams sediment measuring methods and receiving long-term results of in-situ measurements and their analysis is relevant and have a great practical importance for the prediction of possible sediments and, consequently, to enhance the safety of objects on soft foundation soils.

The object of this study was the dam as part of a complex for transshipment of liquefied petroleum gases in the commercial port of Ust-Luga. During the work monitoring of facilities was carried out in order to control the security status of hydraulic structures under construction and to evaluate their impact on the environment. The focus in the period of 2010 - 2011 years was given to geodetic control of sediment of the fill dam, which was built on soft foundation soils up to 20...25 m depth.

References

1. Al-Homoud A. S., Tanash N. Monitoring and analysis of settlement and stability of an embankment dam constructed in stages on soft ground. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2001. Vol. 59. No. 4. Pp. 0259-0284.
2. Al-Homoud A.S., Tanash N. Modeling uncertainty in stability analysis for design of embankment dams on difficult foundations. *Engineering Geology*. 2004. Vol. 71. No. 3-4. Pp. 323-342.
3. Bo Myint Win. *Compressibility of ultra-soft soil*. NJ: World Scientific, 2008. 287 p.
4. *Soft soil engineering: proceedings of the Fourth International Conference on Soft Soil Engineering*. Vancouver, 2007. 786 p.
5. Loukola E. J. *Simulation of a test embankment on a clay foundation according to critical state models*. 1998. Degree: Dr.Tech. DegreeYear: 1996. Institute: Teknillinen Korkeakoulu (Helsinki) (Finland). Publisher: Finnish Environment Institute, P.O.B. 140, 00251 Helsinki, Finland.
6. Van Impe W. F., Verastegui Flores R. D. *Underwater Embankments on Soft Soil: a case history*. UK: Taylor & Francis, 2011. 151 p.
7. Alkhimenko A. I., Belyayev N. D., Fomin Yu. N. *Bezopasnost morskikh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Safety of marine hydraulic structures]. Saint-Petersburg: Lan, 2003. 288 p. (rus)
8. *Deklaratsiya bezopasnosti proyektiruyemykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy Kompleksa po peregruzke szhizhennykh uglevodorodnykh gazov (SUG)* [Declaration of safety of designed hydraulic structures of complex for transshipment of liquefied petroleum gas]. Shifr 47.01.3.626.08-884-DBG. Vol. 12.4, TsBVO ATsIA. Saint-Petersburg: 2011. (rus)
9. *Posobiye po proizvodstvu i priyemke rabot pri stroitelstve novykh, rekonstruktsii i rasshirenii deystvuyushchikh gidrotekhnicheskikh morskikh i rechnykh transportnykh sooruzheniy* (k SNiP 3.07.02-87) [Manual for the production and acceptance of work for new construction, renovation and expansion of existing hydraulic sea and river transport facilities]. Mintransstroy SSSR. Moscow: 1991. (rus)
10. *Ob utverzhdenii razdela I «Tekhnologicheskiy, stroitelnyy, energeticheskiy nadzor» Perechnya normativnykh pravovykh aktov i normativnykh dokumentov, otnosyashchikhsya k sfere deyatelnosti Federalnoy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru po sostoyaniyu na 1 iyulya 2011 goda*. Prikaz Rostekhnadzora ot 28 iyulya 2011 g. No. 435. [Order of Rostechnadzor approving the section I «Technology, construction, energy supervision"]. (rus)

11. Belyayev N. D., Vilkevich V. V. *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo* [Hydraulic Engineering]. 2007. No. 5. Pp. 37-45. (rus)

12. SNiP 3.01.03-84. *Geodezicheskiye raboty v stroitelstve* [Geodetic works in construction]. Gosstroy SSSR, 1985. (rus)

13. SNiP 3.07.02-87. *Gidrotekhnicheskiye morskiye i rechnyye transportnyye sooruzheniya* [Hydraulic marine and river transport facilities]. M.: Gosstroy SSSR, 1987. (rus)

14. Fakhrutdinov M. R., Yalyshev A. I., Belyayev N. D., Mikhalenko Ye. B. *XL Nedelya nauki SPbGPU : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [XL Science Week SPbSPU: Proceedings of the International Scientific Conference]. Part. I. Saint-Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2011. Pp. 50-52. (rus)

15. GOST 24846-81. *Grunty. Metody izmereniy deformatsiy zdaniy i sooruzheniy* [Soils. Methods for measuring the deformation of buildings and structures]. Moscow: 1986. (rus)

16. Fakhrutdinov M. R., Yalyshev A. I., Belyayev N. D., Balashov B. V. *XL Nedelya nauki SPbGPU : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [XL Science Week SPbSPU: Proceedings of the International Scientific Conference]. Part I. Saint-Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2011. Pp. 52-53. (rus)

17. Fakhrutdinov M. R., Yalyshev A. I., Belyayev N. D., Mikhalenko Ye. B. *XL Nedelya nauki SPbGPU : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [XL Science Week SPbSPU: Proceedings of the International Scientific Conference]. Part I. Saint-Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2011. Pp. 335-336. (rus)

18. Gorbunov-Posadov M. I. *Osnovaniya, fundamenty i podzemnyye sooruzheniya* [Foundations, basements and underground structures]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 480 p. (rus)

19. *Posobiye k SNiP 2.05.02-85 po proyektirovaniyu zemlyanogo polotna avtomobilnykh dorog na slabykh gruntakh* [Manual to SNiP 2.05.02-85 about designing subgrades of roads on soft grounds]. Vvedeno v deystviye rasporyazheniyem Mintransa Rossii No. OS-1067-r ot 03.12.2003. Moscow: 1991. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 10-16.