

12. Kovalev, S. V. *Gidravlicheskie harakteristiki avtomaticheskikh vododejstvujushhih zatvorov i oborudovannyh imi vodoslivnyh plotin*: Abstract of PhD diss. M.: Mosk. gos. stroit. un-t, 2009.
13. Classic Fusegate. Web. 24 April 2016 <http://hydroplus.com/hydroplus/hydroplus.nsf/web/hausse_classique.htm&lng=L2>.
14. Chugaev, R. R. *Gidravlika (Tehn. mehanika zhidkosti): Ucheb. dlja gidrotehn. spec. vuzov*. L.: Jenergoizdat, 1982.
15. Russian Federation. Set of rules SP 39.13330.2012. Plotiny iz gruntovyh materialov. M., 2012.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колосов Михаил Александрович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
kaf_gsk@gumrf.ru
Коношенков Александр Алексеевич — аспирант.
Научный руководитель:
Колосов Михаил Александрович.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
a.konoshenkov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kolosov Mihail Aleksandrovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
kaf_gsk@gumrf.ru
Konoshenkov Aleksandr Alekseevich — Postgraduate.
Supervisor:
Kolosov Mihail Aleksandrovich.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
a.konoshenkov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 25 апреля 2016 г.

УДК 656.6; 626.02

К. П. Моргунов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА В ОСНОВАНИИ И ЗАСЫПКЕ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрена проблема адекватного выбора исходных данных при формулировании математической модели расчета напряженно-деформированного состояния конструкций судоходных шлюзов. При таких расчетах в качестве исходных данных принимаются характеристики окружающего грунта. Информация об этих характеристиках обычно может быть получена из материалов проекта сооружения. Существующие в России судоходные гидротехнические сооружения проектировались и строились много лет назад. На примере определения характеристик грунтов в засыпке камер шлюзов на двух гидроузлах ФБУ «Волго-Дон», выполненных через несколько лет эксплуатации, исследовано, как в процессе строительства и эксплуатации изменяются характеристики грунтов, окружающих сооружение. Определено, что на свойства грунта оказывают существенное влияние как процесс организации строительных работ по формированию массива засыпки, так и режимы последующей эксплуатации сооружения.

Ключевые слова: судоходный шлюз, напряженно-деформированное состояние конструкций, свойства грунтов, разуплотнение грунта.

Введение

Для оценки прочности, устойчивости и долговечности конструкций судоходных шлюзов (камер и устоев голов) принято проводить расчеты напряженно-деформированного состояния этих конструкций [1], [2]. Виды исходной информации для подобных расчетов:

– конструкция и геометрические размеры камеры шлюза;

- схема армирования, характеристики бетона и арматуры железобетонных конструкций камеры;
- характеристики грунтов основания камеры и обратных засыпок за стенами расчетных секций камеры.

Очевидно, что от точности исходных данных и их близости к реальным условиям строительства и функционирования сооружения зависит адекватность математической модели и соответствие результатов, полученных с её использованием, фактическому состоянию конструкций. При этом необходимо решать задачу о совместной работе и взаимных деформациях сооружения и его основания, что само по себе представляет весьма сложную задачу. Ошибки в адекватном выборе реальных характеристик материалов могут привести к тому, что получаемые в процессе расчетов результаты не будут соответствовать действительным деформациям и перемещениям конструкций.

Как правило, практически единственным источником информации о характеристиках сооружения и окружающего грунта являются проектные материалы гидроузлов, ведь получить данные о характеристиках бетона и арматуры стен камеры по прошествии значительного количества лет после его укладки можно только весьма трудоемким способом — выбуриванием кернов и изучением их характеристик. Еще сложнее обстоит дело с характеристиками грунтов. В процессе строительства и последующей эксплуатации судоходного шлюза грунты основания и боковых засыпок подвергаются разнообразным динамическим (меняющимся во времени) нагрузкам [3]. Вес шлюза, а значит, и нагрузка на грунт основания в процессе наполнения / опорожнения периодически значительно изменяются. При наполнении камеры её стены отклоняются в сторону засыпки, при опорожнении — возвращаются обратно. Помимо этого, имеют место сезонные температурные перемещения стен камеры, их деформация за счет неравномерного прогрева лицевой стороны стены и стороны, обращенной в сторону грунта. После строительства гидроузла и создания напорного фронта существенным образом изменяется фильтрационный режим в основании и боковых засыпках камер шлюзов, и, соответственно, характеристики грунтов, прежде всего, их влажность. Поэтому получение исходных данных для математического моделирования представляет собой достаточно сложную задачу с большим числом неопределенностей.

На примере исследования данных о грунтах основания и засыпки шлюзов, полученных при выполнении научно-исследовательских работ на гидроузлах ФБУ «Администрация Волго-Донского бассейна внутренних водных путей», можно увидеть, какие неожиданности ждут исследователей при попытке идентификации характеристик грунтов.

Оценка состояния грунтового массива в основании и засыпке сооружений гидроузла шлюза № 5 и Волгоградского гидроузла ФБУ «Волго-Дон»

В 2007 – 2008 гг. выполнялась работа по исследованию прочности и устойчивости железобетонных конструкций судоходной камеры, а также устойчивости грунтовой дамбы, формирующей напорный фронт гидроузла шлюза № 5 Волго-Донского судоходного канала [4]. Проблема заключалась в том, что начиная с 2005 г. осадки и горизонтальные перемещения конструкций камеры и до того существенные, однако не превосходившие предельно-допустимых значений (ПДЗ) в 1 мм/год, стали приобретать скачкообразный резко нарастающий характер. Особенно это проявилось для центральных секций камеры — четвертой и пятой (камера состоит из семи секций). Средняя интенсивность осадки для четвертой секции по левой стороне составила 4,98 мм/год, по правой стороне 6,38 мм/год, а для пятой секции по левой стороне 4,72 мм/год и по правой стороне 2,94 мм/год, что значительно превосходит величину ПДЗ.

Изучение проектных материалов по гидроузлу показало, что свойства грунтов основания камеры шлюза № 5 изначально характеризовались низкими прочностными показателями и высокой сжимаемостью под нагрузкой [5]. В основании голов и камеры шлюза на всем протяжении залегали легкие водоносные супеси нижнебакинского горизонта, близкие по составу к глинистым пескам и содержащие на различной глубине мелкие линзочки глины и тяжелых супесей. Мощность супесей составила 6 – 8 м, мощность линзочек — от 0,2 до 2,0 м. Ниже подошвы камеры на отметке

9,60 – 11,55 м пески подстилаются нижнебакинскими мягкопластинчатыми глинами. Нижнебакинский горизонт подстилается легкими и тяжелыми суглинками андреевской свиты, под ними — легкие и средние супеси и легкие суглинки онкофорового горизонта. Водоупором для них являются мощная пачка глин в основании онкофорового горизонта и глины майкопской свиты (рис. 1 и 2).

По проектным данным грунты, залегающие непосредственно в основании камеры, характеризуются весьма высокими водопропускными свойствами. Коэффициенты фильтрации составляют: для разнородных песков аллювия $K_{\phi} = 0,0109$ см/с (9,35 м/сут), для мелкозернистых пылеватых песков $K_{\phi} = 0,0033$ см/с (2,9 м/сут). Водопроницаемость супеси нижнебакинского горизонта определяется коэффициентом фильтрации $K_{\phi} = 0,00052$ см/с (0,45 м/сут).

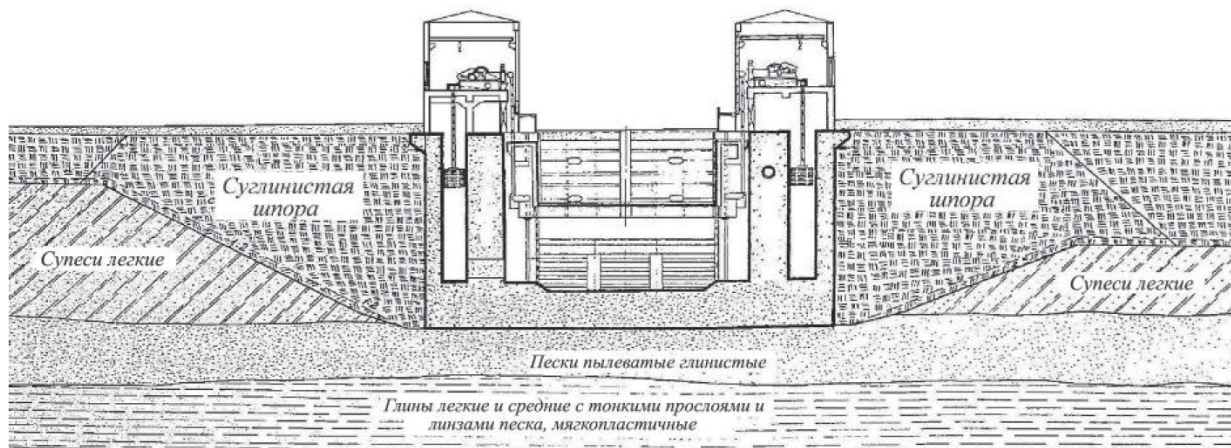


Рис. 1. Поперечный разрез гидроузла по верхней голове

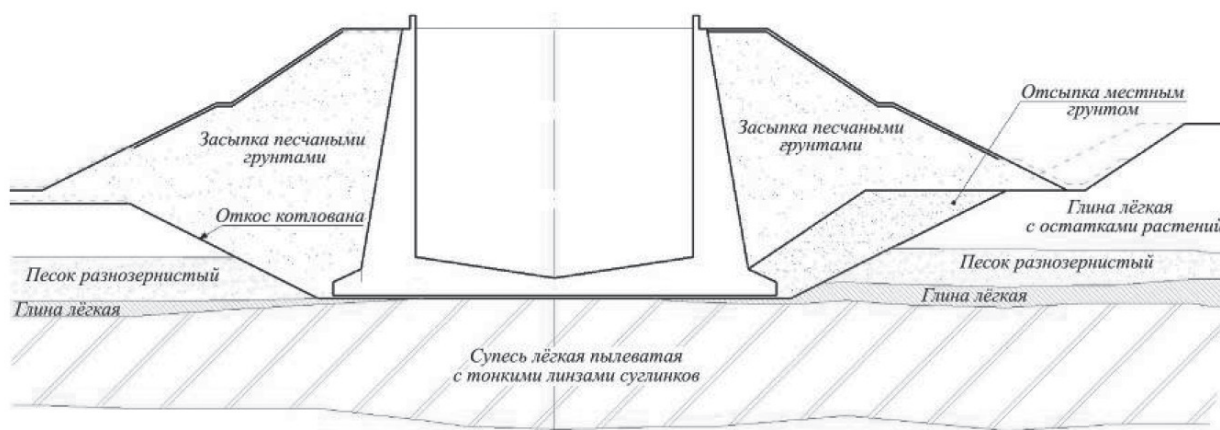


Рис. 2. Поперечный разрез по секции камеры

Слабость и неустойчивость грунтов основания проявилась уже на этапе строительства гидроузла. Проходка котлована сопровождалась крупными оползнями и обвалами земляных масс. Для обеспечения устойчивости откосов принимались специальные меры, из строительного котлована осуществлялся постоянный водоотлив системой глубинных трубчатых колодцев и иглофильтров.

Высотные марки и щелемеры на конструкциях голов и камеры были установлены ещё в период строительства. Это позволило зафиксировать осадки и перемещения элементов шлюза до момента его пуска в эксплуатацию с весны 1952 г. Как показали натурные наблюдения, до затопления камеры водой осадки верхней головы составили 50 – 80 мм, нижней головы — 60 – 70 мм, а секций — в пределах 45 – 55 мм. После затопления камеры водой в течение первых трех лет эксплуатации (1952 – 1955 гг.) произошли дополнительные осадки голов и секций шлюза порядка 100 – 110 мм. В период последующей эксплуатации шлюза происходило медленное нарастание

осадок, которые не превосходили значений 1 мм/год. Однако с 2005 г. произошло увеличение осадок центральных секций шлюза (секции IV и V) [4]. Эти аномальные перемещения были связаны, по всей видимости, с изменением грунтовых условий в основании секций.

Как показали обследования камеры, осушенной в межнавигационный период 2006 – 2007 гг., продольная шпонка в днище шлюза в районе секции IV оказалась нарушена, что привело к проникновению воды из камеры шлюза в грунт под днищем шлюза и последующей суффозии мелкозернистого песка и супеси из основания. На дне камеры в районе шва между секциями IV и V обнаружены наносы (контактный выпор), по-видимому, суффозионный вынос частиц грунта через нарушенный разделительный деформационный шов между секциями. Такой суффозии существенно способствует режим работы шлюза, обусловленный регулярным наполнением и опорожнением камеры. В соответствии с паспортом шлюза наполнение и опорожнение камеры занимает менее 10 мин, при этом напор меняется примерно на 9,5 м. Иными словами, цикл наполнение / опорожнение может рассматриваться как своеобразный «насос», создающий, при наличии гидравлической связи между камерой шлюза и водонасыщенным основанием, значительные фильтрационные градиенты в грунтах основания секций IV и V, превосходящие их критические значения ($J_{cr.m} = 0,32$ для мелкозернистых песков). Проникновение воды из камеры шлюза в грунт основания и последующая суффозия грунта с перемещением его в массиве основания оказывают существенное влияние на характеристики грунта, в том числе на его несущую способность.

Для подтверждения этой гипотезы было проведено георадарное обследование грунтов основания камеры [6], [7]. Было выполнено три геоэлектрических разреза вдоль по длине камеры (один — по оси камеры, и два — у стен), а также по два продольных разреза по грунтам засыпки, слева и справа от камеры шлюза. Кроме того, было выполнено семь поперечных разрезов по длине камеры. Таким образом, были обследованы грунты под камерой и засыпкой вплоть до дренажных ванн гидроузла. Исследования показали, что в грунте основания камеры шлюза под секциями III – V имеется зона разуплотнения грунтов (рис. 3). Понятие «зона разуплотнения» в терминах георадарных исследований означает, что грунт в этих зонах однозначно менее плотен, чем в окружающих слоях.

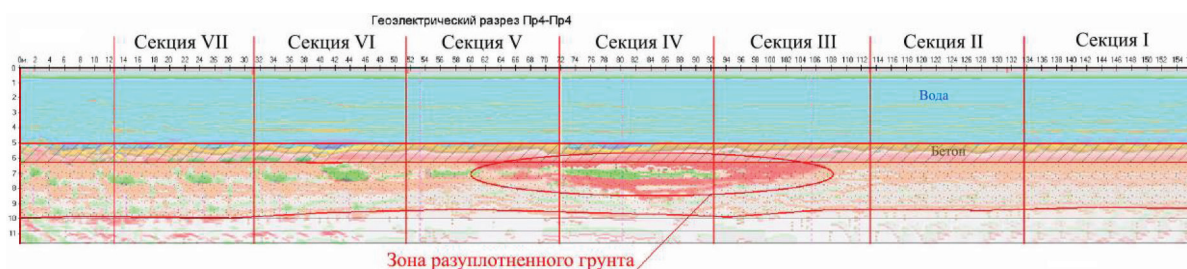


Рис. 3. Геоэлектрический разрез грунта вдоль оси камеры

Зона разуплотненного грунта была зафиксирована также на разрезе, построенном в основании обратной засыпки с левой стороны камеры. Кроме того, на поверхности обратной отсыпки в районе стыка секций IV и V визуально наблюдался *грифон* — выход воды. Что же послужило причиной изменения свойств грунтов основания камеры, приведших к сверхпроектным осадкам и, как следствие, к разрушению шпонки в деформационном шве и проникновению воды из камеры в массив грунта? Ведь для того, чтобы характеристики грунтов в основании камеры (в частности, их насыщенность водой) не создавали угрозы устойчивости конструкции, был спроектирован и реализован напорный фронт гидроузла, состоящий из верхней головы и грунтовой дамбы, двумя крыльями (левым и правым) соединяющей верхнюю голову шлюза с откосами речной долины. Георадарные исследования дамбы дали ответ на этот вопрос.

Конструкция дамбы предполагала наличие в толще её тела глиняного ядра, которое должно было служить противофильтрационной защитой от проникновения в грунты основания камеры шлюза воды из верхнего бьефа гидроузла (рис. 4).



Рис. 4. Поперечный разрез левого крыла дамбы

Длина левого крыла дамбы составляет около 70 – 75 м, на нем было выполнено три геоэлектрических разреза по гребню (со стороны верхнего бьефа, по оси и со стороны нижнего бьефа) и один разрез — в основании дамбы со стороны нижнего бьефа. На гребне правого крыла дамбы длиной около 100 м было сделано два разреза: со стороны верхнего бьефа и по оси. Георадарные разрезы по крыльям дамбы выявили следующее. Верхний слой грунтов дамбы толщиной до 1,0 м по всем разрезам представляет собой насыпные грунты частично с асфальтовым покрытием. Ниже до глубины 8,0 м находятся глинистые грунты, составляющие ядро дамбы. При этом на левом крыле дамбы на расстоянии от 10 до 50 м от берега долины зафиксированы разуплотнения по всем разрезам (рис. 5).

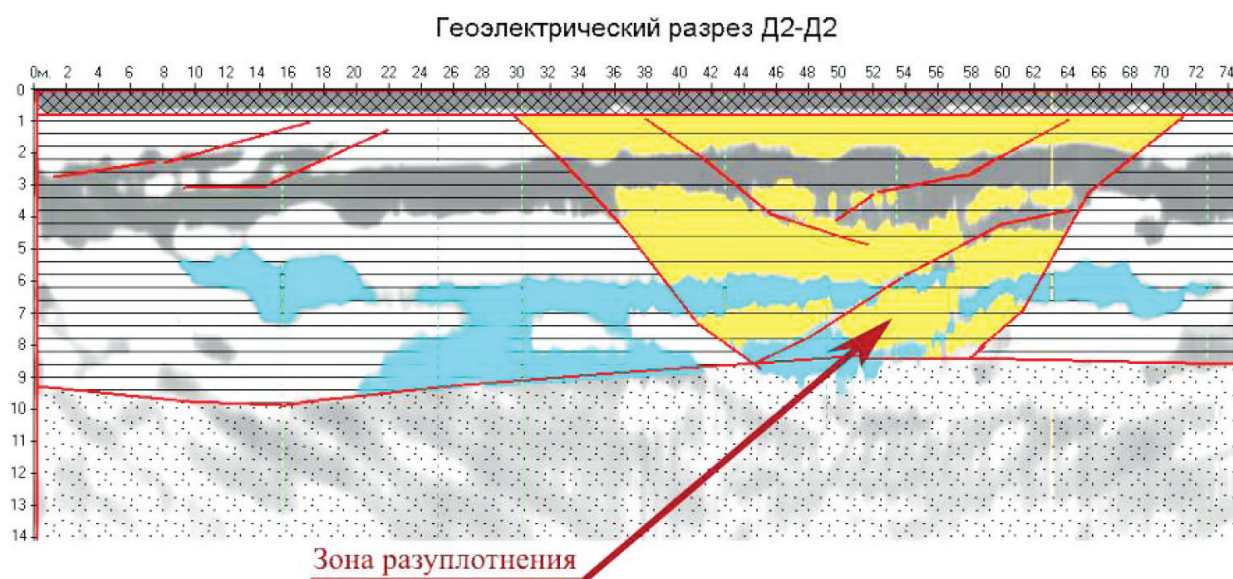


Рис. 5. Геоэлектрический разрез грунта вдоль оси грунтовой дамбы

Разуплотнения располагаются по всей глубине дамбы от 1,0 до 8,0 м, т. е. в этих местах, составляющих по протяженности около 50 % длины дамбы, глиняное ядро практически отсутствует. При этом с глубины около 5,0 м водонасыщенные грунты тела дамбы имеют непосредственную гидравлическую связь с грунтами основания дамбы, а следовательно, и с грунтами основания камеры шлюза. Зафиксирован также выход грунтовых вод на поверхность низового откоса в основании левого крыла дамбы. В правом крыле дамбы глинистое ядро наблюдалось по всей протяженности без разрывов и разуплотнений. Таким образом, из-за частичного разуплотнения напорного фронта гидроузла вода из верхнего бьефа имела возможность поступать через левое крыло дамбы в грунты основания камеры. Это изменяло водонасыщенность этих грунтов, их прочностные характеристики, способствовало процессам суффозии — выноса частиц грунта из основного мас-

сива. Постепенные качественные изменения характеристик грунтов продолжались, по-видимому, до начала 2000-х гг., когда и произошло достаточно резкое изменение характера осадок конструкцией шлюза. При этом разные секции камеры перемещались по-разному, что и привело к разрушению уплотнительной шпонки в районе IV секции камеры. После этого через разрушенную шпонку при наполнении камеры происходило поступление воды из камеры в грунт, а при опорожнении камеры весьма водонасыщенный грунт (легкая пылеватая супесь с водой, практически пульпа) проникал в камеру.

Расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций камеры, выполненные с использованием проектных характеристик грунтов, не дали ответа на причины ненормативных осадок секций камеры шлюза (рис. 6, а). И лишь введение в математическую модель при описании геометрии грунтового массива в районе стыка двух полусекций камеры полости с характеристиками, отличными от характеристик остального массива (рис. 6, б), позволило получить качественные результаты, соответствующие наблюдаемым процессам перемещения конструкций [8].

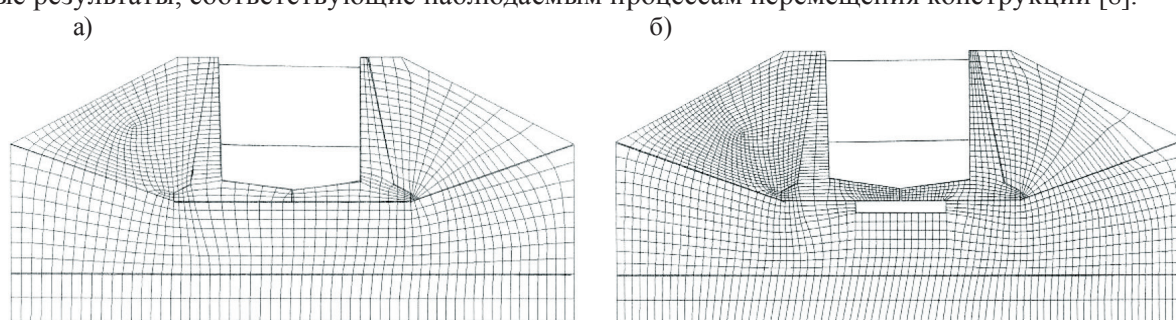


Рис. 6. Конечно-элементная схема разбиения расчетной области:
а — сплошной массив грунта в основании; б — полость в районе оси камеры

Ещё одним примером сравнения реальных характеристик грунтов с проектными является исследование состояния конструкций судоходных шлюзов № 30 и 31 Волгоградского гидроузла [9]. Сооружения Волгоградского гидроузла вступили в строй в 1959 г. При строительстве в научно-исследовательских целях одна из секций верхней камеры шлюза № 31 была оснащена закладной контрольно-измерительной аппаратурой, предназначенной для изучения температурного режима бетона, отклонения стен, раскрытия блочного шва, давления грунта засыпки и напряжённого состояния арматуры.

Для контроля работы закладных приборов и исследования характеристик грунтов обратной засыпки камеры в 1976 г. (через 17 лет после начала эксплуатации) вдоль тыловой части стены камеры был пройден так называемый *малый шурф*, имевший глубину 9 м. Поверху шурф имел размеры в плане $4,20 \times 1,50$ м, в основании, из-за наклона тыловой грани, его размеры были $2,10 \times 1,50$ м. Для того, чтобы оценить свойства грунта засыпки непосредственно у стенки и на некотором расстоянии от нее, пробы отбирались в двух створах, через метр по глубине засыпки. Для обеспечения большей достоверности результатов на каждом ярусе в каждом створе отбирались по три пробы. По каждой из них определялись плотность и влажность грунта, кроме того, во всех ярусах отбирались пробы для проведения компрессионных и сдвиговых испытаний. Из архивных материалов (данных лабораторного анализа грунтов, использовавшихся при засыпке пазух во время строительства) следовало, что засыпка выполнялась мелкозернистым кварцевым песком, грунт по всей глубине засыпки был однородным, начальная плотность его составляла $1,58 \text{ г/см}^3$.

Данные, полученные при проходке шурфа, показали, что за 17 лет эксплуатации плотность грунта в верхней зоне засыпки (до глубины 6 – 7 м) уменьшилась, причем наиболее существенно непосредственно у тыловой грани стенки. Величина разуплотнения была достаточно значительной и составила $0,1 \text{ г/см}^3$, что в долях относительной плотности составляет около 30 %. При этом в верхней части стенки за период эксплуатации также изменилась и влажность грунта. Непосредственно у тыловой грани она снизилась с 7 – 8 % до 4 – 5 %. В лабораторных условиях были

также определены предельные значения плотностей грунта. Оказалось, что плотность скелета в предельно плотном состоянии — $1,65 \text{ г/см}^3$, в предельно рыхлом — $1,32 \text{ г/см}^3$. Для объяснения причин такой неоднородности грунта была рассмотрена гипотеза о том, что при циклических перемещениях стенки в результате наполнений — опорожнении камеры и в результате её сезонных температурных деформаций в верхней части засыпки происходило не уплотнение грунта, как это можно было предположить, а, наоборот, разуплотнение. Гипотеза проверялась при лабораторных исследованиях в лотке с качающейся подпорной стенкой. Проведенные исследования показали, что если обратная засыпка выполнена из грунта с достаточно большой относительной плотностью ($D \leq 0,75$), то при небольших по величине, но многочисленных циклических смещениях стенки на грунт (что моделирует смещения стенки камеры при наполнении / опорожнении шлюза) в верхней зоне засыпки происходит разуплотнение грунта. Если грунт уложен со средней плотностью, то разуплотнения не наблюдается.

Анализ архивных материалов по организации строительных работ показал, что обратная засыпка верхней камеры шлюза № 31 в пределах исследуемой секции проводилась в период с декабря 1958 г. по ноябрь 1959 г. Засыпка выполнялась мелкозернистым кварцевым песком, укладываемым послойно с уплотнением виброкатками в рассматриваемой зоне шурфа. На основании этих данных можно констатировать, что в верхней части засыпки грунт был уложен с очень большой плотностью, относительная плотность которого была близка к 0,9. Именно поэтому, как подтвердили лабораторные опыты, и произошло разуплотнение грунта при циклических смещениях стенки.

В 1981 г. в этом же месте был пройден «большой» шурф глубиной 20 м, при проходке которого также исследовались свойства грунта [10]. Шурф имел в основании размеры $2,5 \text{ м} \times 2,5 \text{ м}$, а поверху $7,6 \text{ м} \times 2,5 \text{ м}$. Так как шурф проходил до глубин ниже уровня грунтовых вод, для его защиты планировалось замораживание грунта на глубину 25 м. Для этого по проекту предусматривалось бурение 18 скважин, из которых 16 были замораживающими. Однако, фактически, сложные условия примыкания шурфа к бетонной стенке камеры вызвали необходимость бурения дополнительных замораживающих скважин. В итоге всего было пробурено 37 скважин, из них 34 замораживающих. Шаг скважин в среднем составлял 1,5 м, фактическая глубина — 26 м. После завершения буровых работ был выполнен монтаж «рассольной» сети и установлены замораживающие станции. Отбор тепла от пород осуществлялся хладоносителем — водным раствором хлористого кальция, который охлаждался до температуры -20°C в испарителях замораживающей станции. Радиус замораживания каждой колонки составлял 2,5 м, общая толщина льдопородного ограждения должна была составить 3,4 м.

Процесс активного замораживания грунта начался, когда глубина шурфа достигла отметки грунтовых вод в незамороженном грунте. Полное промораживание грунта в шурфе было достигнуто, когда шурф был разработан до отметки 6,0 м. После этого разработку грунта пришлось вести с помощью отбойных молотков и электролома. В процессе проходки шурфа в грунте засыпки отбирались пробы на плотность и влажность, пробы отбирались через один метр по глубине в двух сечениях: непосредственно у тыловой грани стенки и у противоположной стенки шурфа. Все пробы отбирались по три раза, полученные характеристики осреднялись. Поскольку одной из задач устройства шурфа была проверка достоверности показаний закладных приборов, в процессе проходки с помощью специального градуировочного устройства были выполнены контрольные градуировки закладных грунтовых динамометров [11]. Кроме того, в процессе проходки и засыпки грунта вдоль стенки шлюза велись регулярные наблюдения за температурой в бетоне, температурой в грунте и напряжениями в тыловой арматуре стенки.

После завершения работ по проходке и выполнения всего исследовательского комплекса была проведена послойная засыпка шурфа с уплотнением. При засыпке использовался тот же самый грунт, при укладке обеспечивалась однородная плотность грунта, соответствующая средней плотности грунта засыпки.

Результаты исследований показали следующее. По архивным данным, полученным лабораторными методами на момент строительства, в пределах верхних 10 м плотность грунта в среднем

составила около $1,60 \text{ г/см}^3$, влажность песка — 5 – 8 %. Отобранные в шурфе пробы показали, что по прошествии более 20 лет эксплуатации плотность грунта в верхней зоне засыпки (в пределах 10 м) значительно снизилась до величины в среднем $1,53 \text{ г/см}^3$. Причем это было среднее значение. На расстоянии трех и более метров от стенки снижение плотности было менее существенным — в пределах $0,02 - 0,03 \text{ г/см}^3$. Влажность грунта по сравнению с начальной также снизилась (непосредственно у стенки по большинству проб она не превышала 5 %, а на расстоянии 5 – 7 м была в пределах 5 – 6 %).

Хотя средняя плотность засыпки в верхней зоне была примерно одинаковой, тем не менее, подробное исследование грунта по высоте засыпки показало значительную неравномерность плотностей. Так, относительная плотность отдельных слоев колебалась в пределах от 0,45 до 0,95, т. е. от почти предельно рыхлого сложения до предельной плотности. Такое различие, безусловно, определялось неудовлетворительным качеством выполнения работ при возведении обратных засыпок. Примером небрежного выполнения работ явилось обнаружение при проходке шурфа на разной глубине засыпки стальной трубы диаметром 500 мм, металлической лестницы, слоя щебня толщиной 5 см, двух глинистых прослоев и на нижних отметках — строительного мусора. И это все было обнаружено в створе исследовательской секции, где контроль за качеством работ должен был быть более тщательным, чем в остальных секциях.

Исследования свойств грунта непосредственно в зоне приборов выявили ряд удивительных особенностей. Так, например, мембрана грунтового динамометра в верхней группе приборов была закрыта корнем растущего в засыпке кустарника, в зоне тангенциальной установки плотность грунта была около $1,44 - 1,46 \text{ г/см}^3$. Наибольшая плотность грунта была выявлена в зоне приборов, установленных на отметке 5,2 м, которые при работе фиксировали самые большие давления грунта. При проходке шурфа непосредственно под этими приборами (ниже на 20 – 30 см) был обнаружен сплошной по площади всего шурфа глинистый прослой толщиной около 0,5 см. Этот прослой мог образоваться при засыпке в результате попадания в котлован воды и отстоя её с выпадением в осадок глинистых наносов. Из-за слабой водопроницаемости этого прослоя выше него грунт на высоту 60 см имел влажность около 24 % и относительную плотность $D = 0,95$, т. е. близкую к предельно плотному сложению. В то же время грунт, лежащий непосредственно под глинистым прослоем, имел влажность 5 – 6 % и относительную плотность около 0,6. Таким образом, если приборы этой группы показывали достоверные результаты, то полученные по ним значительные величины давления можно распространить только на толщину слоя, где выявлена такая высокая плотность грунта, т. е. на высоту 60 см. Второй выявленный прослой глины располагался на отметке 0,9 м и был выше группы датчиков, установленных на отметке 0,7 м. В его зоне также было выявлено изменение плотности. Так, если грунт над прослоем имел плотность $1,60 - 1,62 \text{ г/см}^3$, то ниже прослоя на уровне грунтовых динамометров плотность была в пределах $1,52 - 1,54 \text{ г/см}^3$.

В результате проведения исследований оказалось, что в отличие от проектных решений грунты в пазах камер уложены с неравномерной плотностью по глубине. Наибольшая плотность была выявлена в верхней зоне засыпки, где плотности близки к предельным значениям, однако непосредственно вблизи стенки в результате ее циклических перемещений грунт разуплотнился. В нижней зоне засыпки грунты недоуплотнены и в теле имеется большое количество посторонних включений: мусора, щебня и т. д., непосредственно около стенки грунт разуплотнен в результате ее циклических перемещений. На двух уровнях засыпки выявлены два прослоя глинистого материала, наличие которых обусловило значительные боковые давления на стенку в этих зонах.

Заключение

Приведенные примеры показывают, насколько значительно могут изменяться свойства грунта в процессе строительства и функционирования гидротехнических сооружений по сравнению с проектными. При этом, как показали исследования, весьма существенным условием является правильная организация строительства, прежде всего, процессов обратной засыпки и формирования грунтового массива вокруг сооружений. Засыпку необходимо проводить однородным

грунтом, при этом не достигая максимального уплотнения грунта. Переменная нагрузка на слои грунта, непосредственно прилегающие к стенам камеры, перемещающимся в процессе наполнения / опорожнения, а также при сезонных перемещениях, вызывает разуплотнение грунтов, уложенных с высокой относительной плотностью, а при средних относительных плотностях грунтов разуплотнения не происходит.

Весьма существенным фактором является также обеспечение необходимого (проектного) фильтрационного режима в грунтах основания и засыпки конструкций шлюза. Сам по себе судходный шлюз является напорным гидротехническим сооружением, разделяющим бьефы с различными уровнями воды. Это создает предпосылки для значительного изменения характера перемещения грунтовых вод по сравнению с фильтрацией в ненарушенном грунте. При этом важной задачей является формирование и поддержание напорного фронта, обеспечивающего необходимую степень гашения напора. При условии наличия в основании голов и камеры шлюза слабых грунтов (шлюз № 5 ВДСК), возможно, устройство малопроницаемого (глиняного) ядра в напорной дамбе недостаточно для обеспечения требуемого гашения напора, необходимо устройство шпунтовой стенки. Однако этот вопрос требует дальнейшего исследования.

И, конечно, важен контроль качества проведения строительных работ. Так, например, отсутствие глиняного ядра в значительной части левого крыла дамбы на гидроузле шлюза № 5 Волго-Донского канала может быть объяснено, в том числе и некачественным выполнением работ по формированию этой дамбы. Наличие значительного количества строительного мусора в грунтовой засыпке, обнаруженное при проходке шурфов на Волгоградском гидроузле, привело к формированию существенной неоднородности грунта, что, в свою очередь, повлияло на показания закладных приборов. Понятно, что все эти обстоятельства серьезным образом влияют на результаты расчетов параметров конструкций сооружения, получаемые при математическом моделировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голоскоков Д. П.* Моделирование напряженно-деформированного состояния камеры судходного шлюза с помощью полиномов / Д. П. Голоскоков, В. А. Данилюк // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — № 4. — С. 16а–21.
2. *Моргунов К. П.* Оценка технического состояния камеры шлюза по тепловому состоянию его элементов / К. П. Моргунов, А. А. Кардаков // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — № 1. — С. 22а–28.
3. СП 101.13330.2012 Подпорные стены, судходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87. — М.: Минрегион России, 2012. — 70 с.
4. Проведение исследовательских работ, поверочно-теоретических расчетов прочности и устойчивости конструкций шлюзов № 5, 10 – 13, 15, грунтовой дамбы № 74, напорного трубопровода № 34 насосной станции № 32 Волго-Донского судходного канала с целью установления фактического технического состояния, запасов прочности и несущей способности сооружений и оборудования, разработка критериев безопасности: отчет о научно-исследовательской работе. — СПб.: ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций», 2008. — 131 с.
5. Технический отчет о строительстве Волго-Донского судходного канала им. В. И. Ленина: в 7 т. — М.: Госэнергоиздат, 1957 – 1958. — Т. 2. Организация строительства. Специальные гидротехнические работы. — 319 с.
6. Проведение георадарного обследования, определение состояния грунта в основании шлюза № 5 Волго-Донского судходного канала: отчет. — Уфа: ГУП «БашНИИстрой», 2008. — 48 с.
7. *Колосов М. А.* Использование георадарных методов исследования грунтов в основании камеры шлюза / М. А. Колосов, К. П. Моргунов, Г. В. Коган // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2009. — № 4. — С. 29–33.
8. *Гольдин А. Л.* Расчет осадок и кренов центральной секции шлюза № 5 Волго-Донского судходного канала / А. Л. Гольдин, М. А. Колосов, К. П. Моргунов // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2009. — № 3. — С. 15–21.

9. Проведение исследовательских работ, поверочно-теоретических расчетов прочности и устойчивости железобетонных конструкций судоходных шлюзов № 30, 31 Волгоградского гидроузла: отчет о научно-исследовательской работе. — СПб.: ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», 2014. — 160 с.

10. Полевые исследования при проходке шурфа в засыпке камеры шлюза Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС: отчет. — М.: НИС «Гидропроект», 1981. — 156 с.

11. Восстановление контрольно-измерительной аппаратуры в стенке камеры шлюза и обеспечение возможности проведения дальнейших натурных наблюдений: отчет о науч.-исследов. работе. — М.: НИС «Гидропроект», 1982. — 87 с.

RESEARCH OF CHANGE OF DESCRIPTIONS OF SOIL IN FOUNDATION AND BACKFILL OF SHIPPING LOCK IN THE PROCESS OF BUILDING AND EXPLOITATION OF HIDRAULIC CONSTRUCTION

The considered of problem of adequate choice of basic data is considered at formulation of mathematical model of calculation of stress-strain state of constructions of shipping lock. By such calculations as input basic data accept descriptions of surrounding soil. Information about the characteristics soil can usually be obtained from materials of construction project. Existing in Russia navigable hydraulic engineering facilities were designed and built many years ago. By the example, determining the characteristics of the soils in the filling chamber locks on two hydroschemes FBU "Volga-Don", made over the years of operation, studied, both during construction and operation of changing the characteristics of the soil those around building. It was determined that soil properties have a material effect on both the process of organizing the construction work on the formation of an array of filling and subsequent modes of exploitation of construction.

Keywords: navigable sluice, intense-deformed condition of the constructions, properties of soils, soil decompaction.

REFERENCES

1. Goloskokov, D. P., and V. A. Daniljuk. "Modelling of the intense-deformed condition of the navigable sluice chamber by means of polynoms." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 4 (2011): 16a–21.
2. Morgunov, K. P., and A. A. Kardakov. "The assessment of the technical condition of the sluice by thermo condition of its elements." *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij* 1 (2011): 22a–28.
3. Russian Federation. Set of rules SP 101.13330.2012. Retaining walls, navigation locks, fish passing and fish protection facilities. M.: Minregion Rossii, 2012.
4. Provedenie issledovatel'skih rabot, poverochno-teoreticheskikh raschetov prochnosti i ustojchivosti konstrukcij shljuzov №№ 5, 10, 11, 12, 13, 15, gruntovoj damby № 74, napornogo truboprovoda № 34 nasosnoj stancii № 32 Volgo-Donskogo sudohodnogo kanala s cel'ju ustanovlenija fakticheskogo tehničeskogo sostojanija, zapa-sov prochnosti i nesushhej sposobnosti sooruzhenij i oborudovanija, razrabotka krite-riev bezopasnosti: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. SPb.: FGOU VPO «Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet vodnyh kommunikacij», 2008.
5. Volgo-Don. In: *Tehničeskij otchet o stroitelstve Volgo-Donskogo sudo-hodnogo kanala im. V. I. Lenina*. M.: Gosjenergoizdat, 1957. Vol. 2.
6. Provedenie georadarnogo obsledovanija, opredelenie sostojanija grunta v osnovanii shljuzu № 5 Volgo-Donskogo sudohodnogo kanala: otchet. Ufa: GUP «Bash-NIIstroj», 2008.
7. Kolosov, M. A., K. P. Morgunov, and G. V. Kogan. "Application of georadar (GPR) methods for researching the soil of hydraulic lock's foundation." *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij* 4 (2009): 29–33.
8. Goldin, A. L., M. A. Kolosov, and K. P. Morgunov. "Calculation for settlement and slant of central part of hydraulic lock № 5 of Volga-Don inland navigation channel." *Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij* 3 (2009): 15–21.
9. Provedenie issledovatel'skih rabot, poverochno-teoreticheskikh raschetov prochnosti i ustojchivosti zhelezobetonnyh konstrukcij sudohodnyh shljuzov №№ 30, 31 Volgogradskogo gidrouzla: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. SPb.: FGBOU VO «Gosudarstvennyj universitet morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova», 2015.

10. Polevye issledovaniya pri prohodke shurfa v zasypke kamery shljuza Volzhskoj GJeS im. XXII sezda KPSS: otchet. M.: NIS «Gidroproekt», 1981.

11. Vosstanovlenie kontrolno-izmeritelnoj apparatury v stenke kamery shljuza i obespechenie vozmozhnosti provedeniya dalnejshih naturnyh nabljudenij: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. M.: NIS «Gidroproekt», 1982.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Моргунов Константин Петрович —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
morgunovkp@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Morgunov Konstantin Petrovich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
morgunovkp@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 13 апреля 2016 г.

УДК 528.1

П. В. Томсон

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ ГРУБЫХ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ

В данной статье рассматривается возможность выявления и вычисления грубых ошибок измерений в процессе первичной обработки. Грубые ошибки (большие случайные ошибки) могут быть вызваны различными причинами, возникающими при производстве различных измерений, в том числе при измерительных процессах, реализуемых в судовых условиях (определение места судна, измерение глубин и др.), и при геодезическом обеспечении исследовательских работ на море. Предлагаемый в данной работе алгоритм направлен на вычисление грубых ошибок измерений с последующим исправлением измеренных величин поправками, компенсирующими эти грубые ошибки. Предлагаемый алгоритм вычисления грубых ошибок измерения является альтернативой общепринятой методике отбраковки грубоошибочных измерений. Отмечается, что отбраковка грубоошибочных измерений ведёт к потере информативности измерений. Для достижения поставленной цели предлагается на первичном этапе обработки составлять условные уравнения поправок в исходном или линеаризованном виде и затем решать систему этих уравнений путём перебора относительно только тех поправок, которые предположительно соответствуют грубым ошибкам. Остальные поправки принимаются равными нулю. Число искомых грубых ошибок, естественно, не должно превышать числа условных уравнений. После исправления грубоошибочных измерений исключается необходимость их отбраковки.

Ключевые слова: вычисление грубых ошибок измерений, случайные ошибки измерений, грубые ошибки измерений, условные уравнения, поправки к измеренным значениям, условные уравнения поправок, невязки, отбраковка грубоошибочных измерений.



При производстве различных видов измерений, в частности, в судовых условиях (определение места судна, измерение глубин и так далее), при выполнении геодезических работ (построение наземных сетей, спутниковое позиционирование, аэрофотосъёмка и др.) наряду со случайными ошибками, определяющими точность измерения, появляются большие случайные ошибки (грубые ошибки), выходящие за пределы точности данных измерений. Обработка измерений ведётся, в том числе, путём выявления и отбраковки грубоошибочных измерений, т. е. грубые ошибки удаляются из обработки результатов измерений вместе с самими измерениями их содержащими, а рядовые случайные ошибки допускаются до уравнивания, т. е. исправляются осреднёнными по тому или иному принципу уравнивания поправками.