

УДК 624.07:519.6/.7  
DOI 10.17513/snt.40646

## ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ НА ВОДОПРОНИЦАЕМОМ НАКЛОННОМ ОСНОВАНИИ

<sup>1</sup>Качаев А.Е. ORCID ID 0000-0001-6840-2477,

<sup>2</sup>Хитров Я.И. ORCID ID 0009-0005-1115-1837,

<sup>2</sup>Сорока В.В. ORCID ID 0009-0009-6990-3666

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения  
«Радуга», Радужный, Российская Федерация, e-mail: doctor\_cement@mail.ru;

<sup>2</sup>Коломенский институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Московский политехнический университет», Коломна,  
Российская Федерация

Численные методы исследования напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин помогают определять в процессе их эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла реальное состояние и уровень безопасности. Результаты этих численных моделей необходимо анализировать и верифицировать с существующими аналитическими методами определения параметров напряженно-деформированного состояния. В исследовании верификация численной модели грунтовой плотины производится в соответствии со свойствами модели Мора – Кулона. Целью настоящего исследования является сравнительный анализ результатов численного моделирования с аналитическими расчетами напряженно-деформированного состояния зонированной грунтовой плотины, расположенной на водопроницаемом однородном наклонном основании. В процессе исследования используются численные методы расчета, которыми обладает программный комплекс GTS NX 2022 R1. В исследовании представлено сравнение результатов, полученных при моделировании объекта гидротехнического назначения численными методами по параметрам порового давления, суммарных перемещений и эквивалентных деформаций, с аналитическими расчетами этих параметров, обозначенными в нормативных документах. Установлено, что расхождения между исследуемыми показателями, полученными численными методами и аналитическими расчетами, существуют. Определено, что при этом их величины с учетом статистической погрешности можно считать удовлетворительными. Установлено, что, несмотря на то, что максимальное расхождение численных расчетов по поровому давлению, перемещениям и деформациям не превышает 8,51 %, данный комплекс можно применять в геотехнических расчетах.

**Ключевые слова:** наклонное основание, напряженно-деформированное состояние, поровое давление, деформация, перемещение, верификация

## VERIFICATION OF NUMERICAL MODELING RESULTS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF AN EARTH DAM ON A PERMEABLE INCLINED FOUNDATION

<sup>1</sup>Kachaev A.E. ORCID ID 0000-0001-6840-2477,

<sup>2</sup>Khitrov Ya.I. ORCID ID 0009-0005-1115-1837,

<sup>2</sup>Soroka V.V. ORCID ID 0009-0009-6990-3666

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Scientific Research Institute  
of Irrigation and Agricultural Supply Systems “Raduga”, Raduzhny, Russian Federation,  
e-mail: doctor\_cement@mail.ru;

<sup>2</sup>Kolomensky Institute (branch), Federal State Autonomous Educational Institution  
of Higher Education “Moscow Polytechnic University”, Kolomna, Russian Federation

Numerical methods for studying the stress-strain state of earth dams help determine their actual condition and safety level throughout their lifecycle. The results of these numerical models must be analyzed and verified against existing analytical methods for determining stress-strain state parameters. In this study, the numerical model of an earth dam is verified in accordance with the properties of the Mohr-Coulomb model. The objective of this study is to compare the results of numerical modeling with analytical calculations of the stress-strain state of a zoned earth dam located on a permeable homogeneous inclined foundation. The study utilizes numerical calculation methods available in the GTS NX 2022 R1 software package. The study compares the results obtained by numerically modeling a hydraulic structure using pore pressure, total displacements, and equivalent strain parameters with analytical calculations of these parameters specified in regulatory documents. It was established that discrepancies exist between the studied parameters obtained by numerical methods and analytical calculations. However, their values, taking into account statistical error, can be considered satisfactory. It was established that, despite the fact that the maximum discrepancy between the numerical calculations for pore pressure, displacements, and deformations does not exceed 8.51 %, this system can be used in geotechnical calculations.

**Keywords:** inclined base, stress-strain state, pore pressure, deformation, displacement, verification

### Введение

Использование численных методов моделирования (расчета) в инженерной практике строительства и мелиорации позволяет быстро определять устойчивость гидротехнических объектов во времени, эффективно и дискретно устанавливать их прочностные параметры в процессе эксплуатации и тем самым обеспечивать безопасность функционирования при их ремонте на протяжении всего жизненного цикла [1, с. 62].

Применение метода конечных элементов (МКЭ) в гидротехнике обеспечивает детальный анализ распределения напряжений и деформаций в теле грунтовой плотины, что является критически важным для предотвращения аварийных ситуаций и разрушений подобного рода сооружений [2, с. 6–7]. При различных гидравлических нагрузках в теле грунтовой плотины формируется напряженно-деформированное состояние, способное приводить к неправильной эксплуатации и потенциальному выходу из строя всей гидротехнической системы обустройства водохранилища [3; 4, с. 8].

В настоящее время для оценки устойчивости и деформаций грунтовых плотин применяются два основных подхода: аналитические методы и численные методы моделирования напряженно-деформированного состояния. Аналитические методы основаны на упрощенных теоретических моделях и позволяют получить быстрое приближенное решение. Однако такие методы могут не учитывать многих факторов, влияющих на реальное поведение сооружения. Численные методы, в свою очередь, предоставляют более детализированное описание процессов, благодаря возможности учитывать сложные геометрии, неоднородности грунтов и нелинейные свойства материалов. При этом численные методы требуют значительных вычислительных ресурсов и могут быть подвержены погрешностям за счет выбора модели и параметров [5]. Верификация численных моделей путем сравнения их результатов с аналитическими решениями или экспериментальными данными является необходимым этапом для подтверждения их достоверности и адекватности. Без такой проверки применение численных методов в инженерной практике может привести к ошибочным выводам и потенциальным рискам для безопасности сооружений.

**Цель исследования** заключается в проведении сравнительного анализа результатов численного моделирования с аналитическими расчетами напряженно-деформированного состояния (НДС) зонированной грунтовой плотины (по показателям порового давления, перемещений и дефор-

маций в теле плотины), расположенной на водопроницаемом однородном наклонном основании.

### Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели использовались методы численного моделирования с применением программного обеспечения GTS NX от компании Midas (версия GTS NX 2022 R1). Данный комплекс в России считается сертифицированным и верифицированным. Однако по опыту производства расчетов [6] в данной программе имеются сведения о необходимости проведения дополнительных расчетов, подтверждающих результаты численных расчетов в этом программном комплексе. Результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния исследуемого объекта в последующем верифицировались с известными аналитическими методами расчета параметров напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин [7, с. 402]. Программный комплекс позволяет реализовать метод конечных элементов, который широко используется в геотехнической инженерии [6, с. 25–27].

Моделирование проводилось для случаев максимальных динамических (и статических) нагрузок, возникающих в результате удерживания максимального уровня воды в водохранилище. Рассмотрено для верификации напряженно-деформированное состояние плотины при максимальном уровне воды (НПУ).

Верификация результатов численного моделирования грунтовой плотины с ядром на наклонном водопроницаемом основании относительно порового давления проводилась в соответствии с нормативным документом [8, Приложение А]. Учитывались условия для консолидированного расчета фильтрации в исследуемом объекте.

Верификация перемещений и деформаций грунтов при нагружении для различных зон плотины относительно заданной при численном моделировании модели Мора – Кулона [8] осуществлялась путем сравнения результатов численного моделирования с данными лабораторных штамповых испытаний образцов, полученных при бурении скважин на исследуемой плотине в соответствии с нормативными документами [9–11].

Объектом исследования является грунтовая плотина с непроницаемым (железобетонным) ядром на водопроницаемом наклонном основании, входящая в состав мелиоративной системы, расположенной в Куменском районе Кировской области (срок эксплуатации плотины более 50 лет).

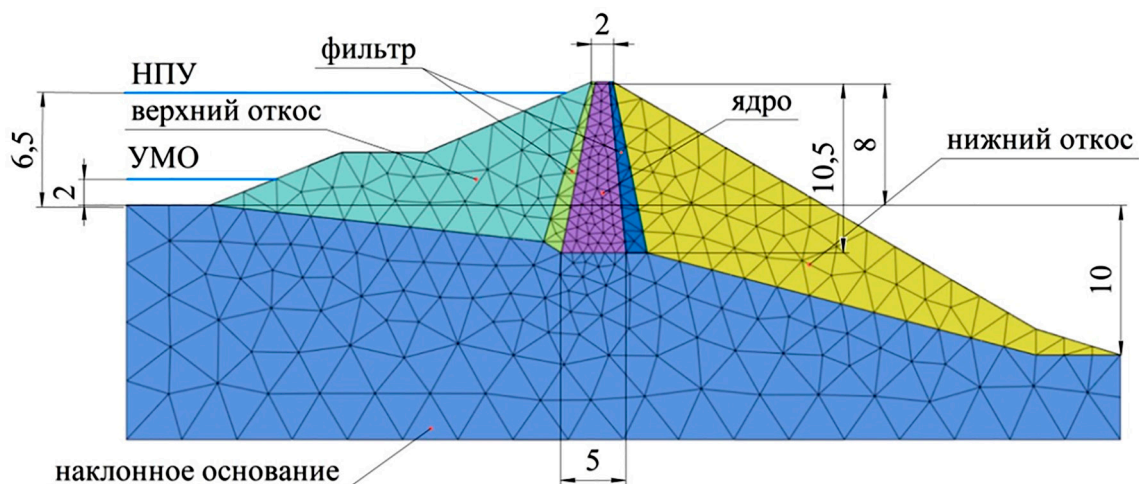


Рис. 1. Расчетная модель гидротехнического сооружения в конечных элементах  
Примечание: составлен авторами по чертежам исследуемого объекта

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов исследуемой плотины

Параметры	Величина			
	Наклонное основание	Откосы	Ядро	Фильтр
1	2	3	4	5
Удельный вес грунта при естественной влажности, кН/м <sup>3</sup>	17	16	22	18
Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии, кН/м <sup>3</sup>	21	20	25	22
Начальный коэффициент пористости	0,5	0,5	0,5	0,5
Эффективный модуль Юнга, кН/м <sup>2</sup>	$50 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$
Коэффициент Пуассона	0,3	0,33	0,35	0,3
Модуль сдвига, кН/м <sup>2</sup>	$19,23 \cdot 10^3$	7519	555.600	$19,23 \cdot 10^3$
Касательный одометрический модуль деформации, кН/м <sup>2</sup>	$6,73 \cdot 10^3$	$29,63 \cdot 10^3$	2407	$6,73 \cdot 10^3$
Параметр референсного давления, кН/м <sup>2</sup>	1	5	5	1
Угол внутреннего трения, рад	35	31	0	35
Угол дилатансии, рад	5	1	0	5
Скорость прохождения поперечных волн, м/с	105,3	67,9	18,46	106,2
Скорость прохождения продольных волн, м/с	197,1	134,8	38,42	198,2
Коэффициент фильтрации по оси X	0,01	1	$0,1 \cdot 10^{-3}$	0,01
Коэффициент фильтрации по оси Y	0,01	1	$0,1 \cdot 10^{-3}$	0,01
Глубинный параметр неравномерности распределения дилатансии, м	$10 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$
Удельный параметр неравномерности распределения дилатансии, 1/м	$5,33 \cdot 10^{-6}$	$0,13 \cdot 10^{-3}$	$0,18 \cdot 10^{-3}$	$5,72 \cdot 10^{-5}$
Реологический модуль	$1000 \cdot 10^{12}$	$1000 \cdot 10^{12}$	$1000 \cdot 10^{12}$	$1000 \cdot 10^{12}$

Примечание: составлена авторами по результатам инженерно-геологических изысканий.

### Результаты исследования и их обсуждение

Расчетная модель гидротехнического сооружения в конечных элементах представлена на рис. 1. Модель состоит из слоев

грунта с различными физико-механическими характеристиками, показанными в табл. 1, которые были взяты из инженерно-геологических изысканий перед началом реконструкции гидротехнического объекта.

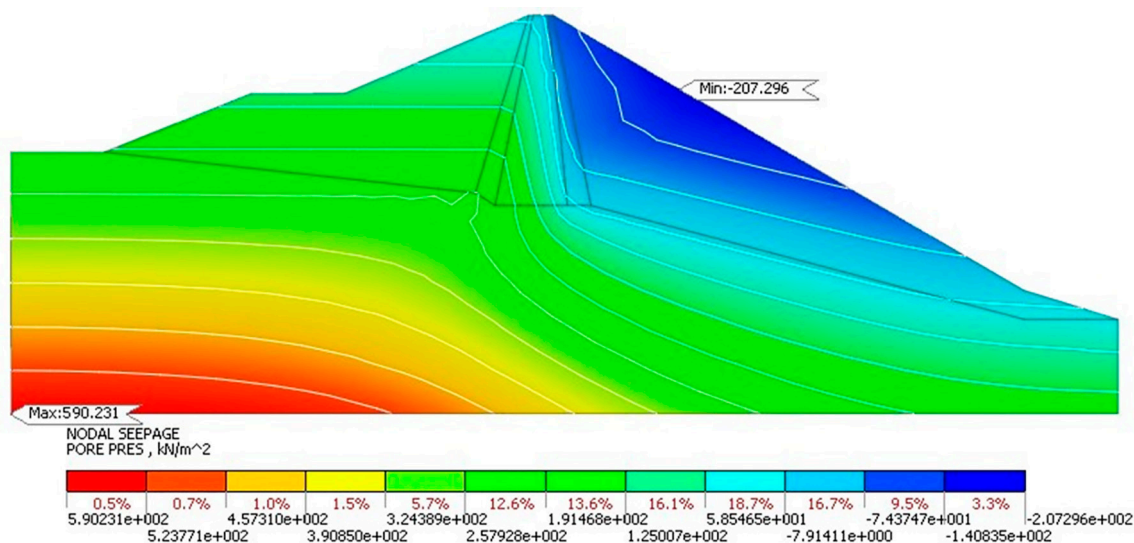


Рис. 2. Изополя порового давления в грунтовой плотине при НПУ  
Примечание: составлен авторами в программном комплексе GTS NX

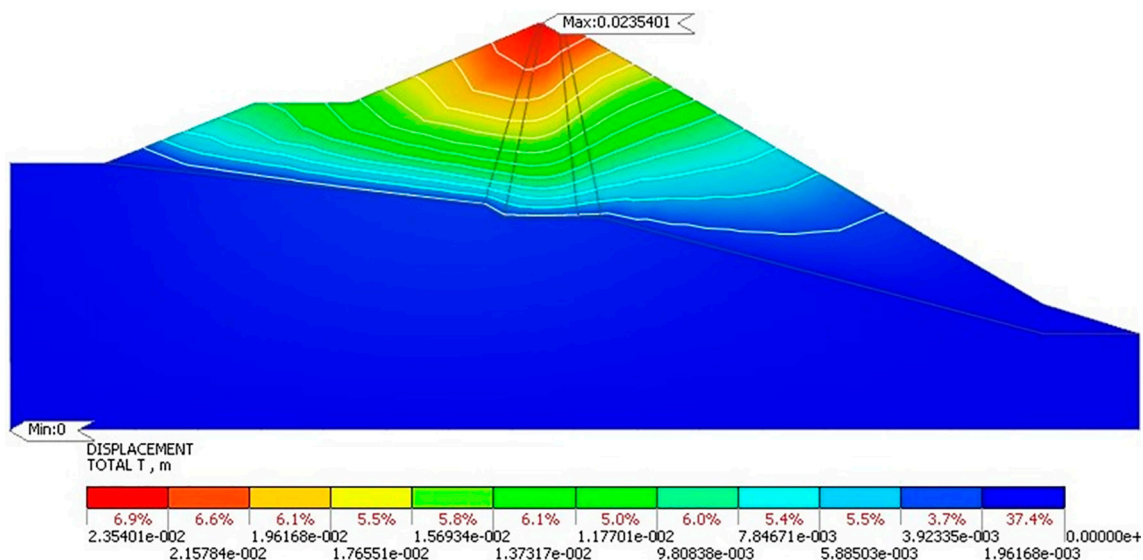


Рис. 3. Суммарные перемещения в грунтовой плотине при полном водохранилище (НПУ)  
Примечание: составлен авторами в программном комплексе GTS NX

Величина порового давления может свидетельствовать о насыщенности водой участков или наличии потенциальных зон ослабления устройства плотины, что увеличивает риск деформаций или разрушений гидротехнического объекта.

На рис. 2 и 3 показаны стадии НДС плотины в зависимости от порового давления в различных ее зонах. Максимальные значения порового давления возникают в наклонном основании плотины – в левом нижнем углу для НПУ – 590,231 кН/м<sup>2</sup>. Минимальные значения полного порового давления возникают в верхней части нижнего откоса для НПУ – «минус» 207,31 кН/м<sup>2</sup>.

Изополя перемещений и деформаций в зонированной грунтовой плотине в момент ее максимально напряженного состояния показаны на рис. 3 и 4 (при полном водохранилище) и рис. 5 соответственно.

На рис. 3 по результатам численного моделирования в момент максимального нагружения грунтовой плотины наглядно видно, что максимальные суммарные перемещения по большей степени происходят в гребне (в верхней части тела) плотины (0,0321 м), а наклонное основание при этом испытывает минимальные перемещения (значения перемещений близки к значению нуля).



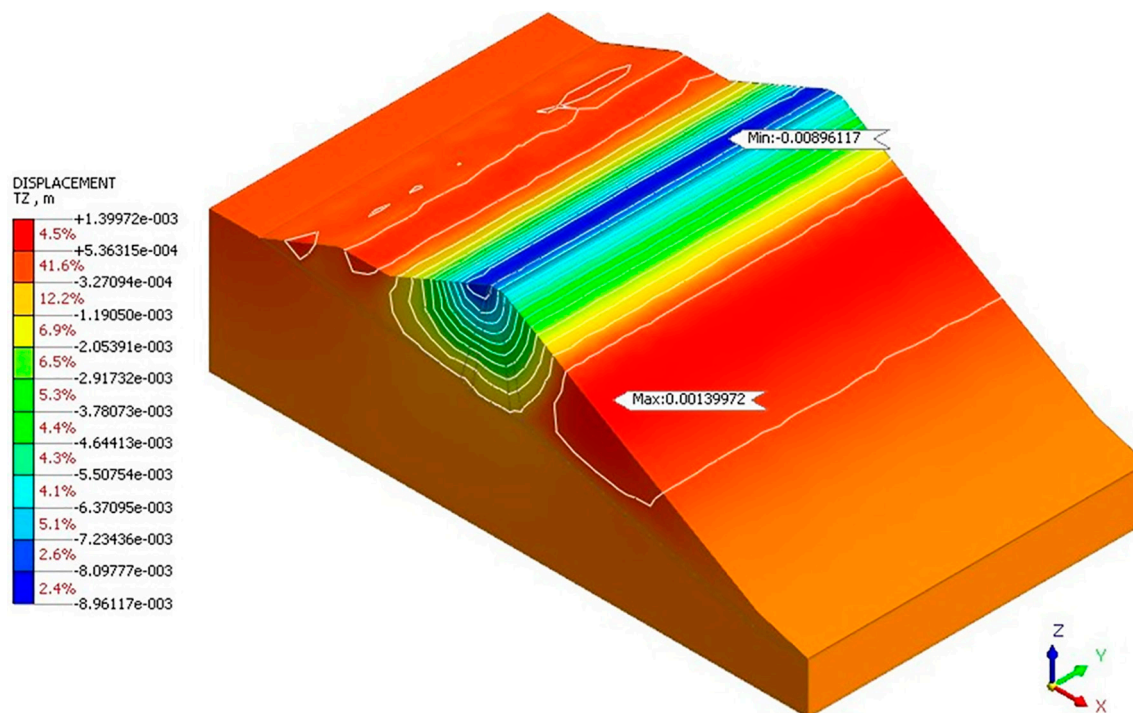


Рис. 4. Локальные перемещения в грунтовой плотине при понижении уровня воды (ось Z)  
Примечание: составлен авторами в программном комплексе GTS NX

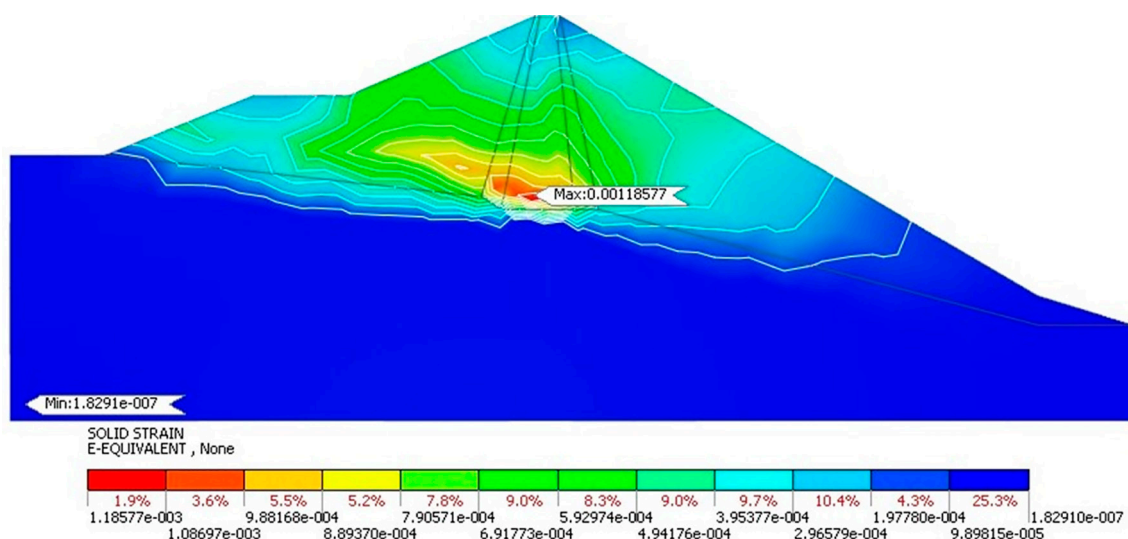


Рис. 5. Эквивалентные относительные деформации в теле грунтовой плотины при НПУ  
Примечание: составлен авторами в программном комплексе GTS NX

На рис. 4 показаны перемещения в теле грунтовой плотины в процессе понижения уровня воды в водохранилище от НПУ до УМО. При этом следует обратить внимание на «красную» зону, показанную на рис. 4, в которой появляются признаки возможного обрушения низового откоса (выпирание низового откоса – перемещение вдоль глобальной оси Z положительно).

Анализ деформаций в объемных элементах, показанный на рис. 5, сопоставим

с численными результатами полученных перемещений (рис. 3). Начало образования напряженной зоны на низовом откосе (рис. 4 – «красная зона») в величинах деформации в объемных элементах также свидетельствует о возможной зоне обрушения при нагрузках, образованных от переполненного водохранилища (тогда проводятся расчеты на устойчивость откосов гидротехнического сооружения [12, 13]).

Таблица 2

Верификация результатов численного и аналитического расчетов порового давления, перемещений и деформаций для исследуемого объекта

Наименование параметра	Приложенные усилия, кН		Напряжения, кН/м <sup>2</sup>		Отклонение, %
Поровое давление					
	[8, Приложение А]	GTS NX	[8, Приложение А]	GTS NX	
Вертикальная нагрузка от силы тяжести грунта тела плотины на основание	1525	1525	–	–	–
Горизонтальная нагрузка от НПУ водохранилища	490	490	–	–	–
Максимальное поровое давление	–	–	612,51	590,23	-3,64
Минимальное поровое давление	–	–	-224,23	-207,29	-7,56
Суммарные перемещения					
	Приложенные усилия, кН		Перемещения, м		Отклонение, %
	Штамповые испытания	GTS NX	Штамповые испытания	GTS NX	
Максимальные суммарные перемещения (осадка)	–	–	0,0255	0,0235	-8,51
Эквивалентные относительные деформации					
	Приложенные усилия, кН		Деформации, доли процентов		Отклонение, %
	Штамповые испытания	GTS NX	Штамповые испытания	GTS NX	
Максимальная относительная деформация в вертикальной плоскости – зона сжатия грунта (оценка по осадке)	–	–	12,25·10 <sup>-4</sup>	11,85·10 <sup>-4</sup>	-3,14
Минимальная относительная деформация в вертикальной плоскости – зона сжатия грунта (оценка по осадке)	–	–	16,91·10 <sup>-6</sup>	18,29·10 <sup>-6</sup>	7,55

Примечание: составлена авторами по результатам аналитических расчетов параметров

Ввиду того, что решатель программы для всех случаев водопонижения воды в водохранилище использует одну модель грунтового напряженного состояния Мора – Кулона, верификация производилась для объекта с максимальным уровнем воды в водохранилище.

Результаты аналитических расчетов показателей в сравнении с результатами, полученными в численной модели плотины, будем считать за 100%. Результаты аналитических расчетов верифицируемых параметров с численной моделью исследуемой плотины, полученной в программном комплексе GTS NX компании MIDAS, представлены в табл. 2.

Анализ результатов верификации по приведенным параметрам в табл. 2 говорит о том, что по всем анализируемым показателям в численной модели плотины

в сравнении с аналитическим расчетом их величины «занижены». Так, например, для параметра порового давления это занижение варьируется в пределах 3,64–7,56%, что можно считать удовлетворительным в рамках статистической погрешности в 3% [14, 15]. При сравнении отклонения результатов расчета по параметрам перемещений и деформаций в плотине этот показатель находится в пределе от 3,14 до 8,51%. Для расчетов показателей подобного типа считаем результаты по всем параметрам удовлетворительными.

#### Заключение

Численно выполнен расчет напряженно-деформированного состояния (поровое давление, перемещения и деформации) рассматриваемого гидротехнического объекта при максимальном уровне воды в во-

дохранилище. Результаты верификации параметров напряженно-деформированного состояния исследуемой плотины считаем удовлетворительными. Максимальные показатели расхождения в верифицируемых данных численного и аналитического расчетов наблюдаются при анализе значений перемещений по гребню плотины – «минус» 8,51 %, что можно считать по численному моделированию таких параметров удовлетворительным с учетом статистической погрешности исследования равной 3 % (но требующим обязательной верификации по аналитическим методикам расчета осадки гребня плотины).

Практическая значимость исследования заключается в применении и проверке представленной методики верификации численных и аналитических расчетов параметров НДС грунтовых плотин инженерами-геотехниками.

Данные настоящего исследования, полученные в ходе численного моделирования объекта гидротехнического назначения, критически важны для проектирования при его реконструкции или капитальном ремонте. Параметры напряженно-деформированного состояния плотины, рассчитанные с помощью программных комплексов, верифицированных в нашей стране надзорными органами, позволяют принять обоснованные решения, направленные на повышение безопасности и надежности гидротехнического сооружения, особенно с учетом его длительной эксплуатации в любое время его жизненного цикла.

### Список литературы

1. Симонович О.С., Снежко В.Л., Козлов Д.В. Периодичность ремонта низконапорных грунтовых плотин для сохранения их уровня безопасности // *Природообустройство*. 2020. № 1. С. 59–64. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/periodichnost-remonta-nizkonapornyh-gruntovyh-plotin-dlya-sohraneniya-ih-urovnya-bezopasnosti/viewer> (дата обращения: 07.10.2025). DOI: 10.26897/1997-6011/2020-1-59-65.
2. Беллендир Е.Н., Липовецкая Т.Ф., Радченко В.Г., Сапегин Д.Д. Рекомендации российских нормативных документов по обеспечению надежности грунтовых плотин // *Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева*. 2000. Т. 238. С. 5–14. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_9589909\\_20050790.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_9589909_20050790.pdf) (дата обращения: 07.10.2025).
3. Титова Т.С., Лонгобарди А., Ахтямов Р.Г., Насырова Э.С. Срок эксплуатации грунтовых плотин // *Инженерно-строительный журнал*. 2017. № 1 (69). С. 34–43. URL: [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2017/1\(69\)/03.pdf](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2017/1(69)/03.pdf) (дата обращения: 07.10.2025). DOI: 10.18720/MCE.69.3.
4. Качаев А.Е., Турапин С.С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // *Наука и мир*. 2024. № 3. С. 6–10. URL: <https://w-science.com/ru/nauka/article/92073/view> (дата обращения: 07.10.2025). DOI: 10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.
5. Бурцев Р.В., Манухин А.В. Программный комплекс midas gts nx в расчете напряженно-деформированного состояния системы основание – сооружение // *Оригинальные исследования*. 2020. Т. 10. № 4. С. 10–16. URL: [https://ores.su/media/filer\\_public/7e/77/7e7732cf-c786-43c7-bd33-5f009de1b75d/2\\_programmnyi\\_kompleks\\_midagtsnx\\_v\\_raschete\\_napriazhenno\\_deformirovannogo\\_sostoiianiia\\_sistemy\\_osnovanie-sooruzhenie.pdf](https://ores.su/media/filer_public/7e/77/7e7732cf-c786-43c7-bd33-5f009de1b75d/2_programmnyi_kompleks_midagtsnx_v_raschete_napriazhenno_deformirovannogo_sostoiianiia_sistemy_osnovanie-sooruzhenie.pdf) (дата обращения: 07.10.2025).
6. Крутов Д.А. Гидротехнические сооружения: учебник для вузов. М.: Юрайт, 2025. 238 с. URL: <https://urait.ru/bcode/567034> (дата обращения: 07.10.2025). ISBN 978-5-534-12898-7.
7. Ким М.С., Селезнева В.Н., Волков С.Н. Базовые модели расчета песчаных и глинистых грунтов в программном комплексе MIDAS GTS NX // *Высокие технологии в строительном комплексе*. 2023. № 1. С. 24–29. URL: [https://cchgeu.ru/upload/science/nauchnye-izdaniya/vysokie-tehnologii-ekologiya/2023%20\(1\)%20ВЫСОКИЕ%20ТЕХНОЛОГИИ%20В%20СТРОИТЕЛЬНОМ%20КОМПЛЕКСЕ.pdf](https://cchgeu.ru/upload/science/nauchnye-izdaniya/vysokie-tehnologii-ekologiya/2023%20(1)%20ВЫСОКИЕ%20ТЕХНОЛОГИИ%20В%20СТРОИТЕЛЬНОМ%20КОМПЛЕКСЕ.pdf) (дата обращения: 07.10.2025).
8. Козловский Е.Я., Журавков М.А. Определение и верификация параметров расчетной модели соляных пород с учетом разупрочнения и ползучести // *Записки Горного института*. 2021. Т. 247. С. 33–38. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-i-verifikatsiya-parametrov-raschetnoy-modeli-solyanyh-porod-s-uchetom-razuprochneniya-i-polzuchesti/viewer> (дата обращения: 08.10.2025). DOI: 10.31897/PMI.2021.1.4.
9. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов / Минстрой России. М.: Стандартинформ, 2012. 100 с.
10. СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85: Свод правил. Утв. Приказом Минстроя России от 13.08.2018 № 513/пр.; введен в действие с 14.02.2019. М.: Стандартинформ, 2019. 85 с.
11. ГОСТ 22733-2016. Грунты. Методы определения максимальной плотности / Разработан ООО «ЦНИИЭПжилица»; введ. 01.01.2017. М.: Стандартинформ, 2017. 10 с.
12. Качаев А.Е. Учет деформаций грунтов насыпных плотин при консолидированных расчетах // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2025. № 48. С. 71–74. URL: <http://srcms.ru/jarits/48/text/14.pdf> (дата обращения: 07.10.2025). DOI: 10.26160/2474-5901-2025-48-71-74.
13. Saikia R., Kanti Dey A. Slope stability analysis of slides at Sonapur using strength reduction method. In: *Proceedings of Indian geotechnical conference IGC2016*, P. 15–17. URL: [https://www.researchgate.net/publication/312032142\\_Slope\\_stability\\_analysis\\_of\\_slides\\_at\\_Sonapur\\_using\\_strength\\_reduction\\_method](https://www.researchgate.net/publication/312032142_Slope_stability_analysis_of_slides_at_Sonapur_using_strength_reduction_method) (дата обращения: 08.10.2025).
14. Воронова Н.С., Бежанов С.Г., Воронов С.А., Хангулян Е.В., Цупко О.Ю., Романов А.И. Анализ и представление результатов эксперимента: Учебно-методическое пособие / Под общ. ред. Н.С. Вороновой. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. 120 с. URL: [http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=%D0%9F%D0%B0%D0%BA%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0&Z21ID=49730&PATH=book-mephi%2FVoronova\\_Analiz\\_i\\_predstavlenie\\_rezultatov\\_eksperimenta\\_2015.pdf](http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?Z21FAMILY=%D0%9F%D0%B0%D0%BA%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0&Z21ID=49730&PATH=book-mephi%2FVoronova_Analiz_i_predstavlenie_rezultatov_eksperimenta_2015.pdf) (дата обращения: 08.10.2025). ISBN 978-5-7262-2141-0.
15. ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Ч. 4. Выявление и обработка выбросов: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 01.12.2018. М.: Стандартинформ, 2017. 54 с.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.