

УДК: 627.824:624.624.131

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

*М.М. Мирсаидов - д.т.н., профессор, академик*

*Т.З. Султанов - д.т.н., доцент, Ж.А. Ярашов - докторант*

*Э.С. Тошматов - ассистент, Б.Ш. Юлдашев - ст. преподаватель.*

*Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства*

*Д.Ф. Руми - к.т.н., старший научный сотрудник*

*Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз*

### Аннотация

В данной работе приводится математическая постановка, методы и алгоритмы оценки напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений с учетом геометрического нелинейного деформирования грунта при статических воздействиях. В ходе исследований выявлено, что учет геометрической нелинейной деформации грунта приводит к заметному изменению НДС в высотных сооружениях и приводит к увеличению всех компонент напряжений. При этом, в верхней части стыка ядра с переходной зоной и верховым откосом наблюдается большая концентрация напряжений, являющаяся причиной нарушения прочности в этих зонах грунтовых плотин.

**Ключевые слова:** грунтовые плотины, напряженно-деформированное состояние, нелинейность, неоднородность, напряжение, деформация, прочность.

## ГЕОМЕТРИК ЧИЗИҚСИЗЛИКНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА СТАТИК КУЧЛАР ТАЪСИРИДАГИ ГРУНТЛИ ТЎҒОНЛАРНИНГ КУЧЛАНГАНЛИК ДЕФОРМАЦИЯ ҲОЛАТЛАРИНИ БАҲОЛАШ

*М.М. Мирсаидов, Т.З. Султанов, Ж.А. Ярашов*

*Э.С. Тошматов, Б.Ш. Юлдашев, Д.Ф. Руми*

### Аннотация

Ушбу мақолада грунтнинг геометрик чизиқсиз деформацияланишини ҳисобга олган ҳолда грунтли иншоотларнинг кучланганлик – деформация ҳолатларини баҳолаш масаласининг математик қўйилиши, ечиш усули ва алгоритми келтирилган. Тадқиқотлар давомида грунтнинг геометрик чизиқсиз деформацияланишини ҳисобга олиниши баланд иншоотларнинг барча кучланиш компонентларини ортиши ва кучланганлик – деформация ҳолатларини сезиларли даражада ўзгартириши аниқланди. Бунда тўғоннинг юқори қисмидаги ядро билан туташ жойлар ва юқори призмада кучланишлар концентрациясини ортиши ва тўғоннинг бу жойларида мустақамликнинг бузилишига олиб келиш ҳолатларини кузатилиши аниқланди.

**Таянч сўзлар:** грунтли тўғон, кучланганлик деформация ҳолати, чизиқсизлик, бир жинссизлик, кучланиш, деформация, мустақамлик.

## ASSESSMENT OF STRESS-STRAIN STATE OF EARTH DAMS WITH ACCOUNT OF GEOMETRICAL NONLINEARITY UNDER STATIC LOADS

*M.M. Mirsaidov, T.Z. Sultanov, Zh.A. Yarashov*

*E.S. Toshmatov, B.Sh. Yuldoshev, D.F. Rumi*

### Abstract

Mathematical formulation, methods and algorithms for estimating the stress-strain state of earth structures with account of geometric nonlinear strain of soil under static effects are given in the paper. In the course of studies it was revealed that an account of geometrically nonlinear strain of soil leads to a noticeable change in stress-strain state of high-rise structures and to an increase in stress components. High concentration of stresses, which are the cause of strength damage in the zones of earth dams, is observed in the upper part of the kernel joint with the transition zones and the uphill slope.

**Key words:** earth dams, stress-strain state, nonlinearity, heterogeneity, stress, strain, strength.



**В**ведение. Мировой опыт показывает, что своевременная профилактика намного экономичнее и эффективнее, чем ликвидация последствий, связанных с паводковыми явлениями и авариями на гидротехнических сооружениях. Поэтому организация мониторинга и прогнозирование возможных чрезвычайных ситуаций, выполнение защитных инженерно-технических мероприятий с целью повышения устойчивости гидротехнических сооружений выдвигаются на первый план [1].

Сегодня в республике функционирует более 270 крупных и особо важных гидротехнических сооружений. От их надежности во многом зависит гарантированная водообеспеченность сельского хозяйства Республики. Поэтому вопрос надежной и безопасной эксплуатации ГТС приобретает особую актуальность.

Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений, в первую очередь, определяется их надежностью. Под надежностью подразумевается безотказная работа сооружения в целом и его отдельных элементов в течение всего срока службы [2, 3, 4].

В работах [5-10] подтверждаются серьезность и актуальность обеспечения безопасности и надежности плотин при их эксплуатации.

Надежность и безопасность плотин зависят от возникающего в конструкции напряженно-деформированного состояния при различных нагрузках. Прогноз изменения величины компонентов напряженно-деформированного состояния плотины, позволяет получить полную информацию о прочности сооружения.

При исследованиях напряженно-деформированного состояния и динамики конкретных сооружений с целью обеспечения их прочности возникает ряд вопросов, связанных с учетом реальной геометрии, неоднородности и конструктивных особенностей сооружения, реальных свойств их материала. Учет указанных аспектов позволяет более точно прогнозировать состояние сооружений при различных воздействиях. Наряду с этим, точность определения НДС (напряженно-деформированное состояние) зависит от выбранной расчетной схемы, используемых математических моделей, методов решения и уравнений состояния материалов [5-9,12-14].

В связи со строительством высоких грунтовых плотин возрастает актуальность учета нелинейных свойств грунтов. Одной из нелинейных моделей, удовлетворительно описывающих свойства грунтовых материалов, является модель упругопластического тела [5-9, 12-19]. Модель [7, 8] базируется на предположении, что до достижения состояния предельного равновесия материал ведет себя согласно модели линейной теории упругости. При превышении же напряжениями предела прочности при растяжении или при сдвиге происходит нарушение прочности материала по теории прочности Кулона-Мора.

Основные положения методики оценки сейсмостойкости

плотин с учетом пластических свойств грунта, а также эффект взаимодействия минерального скелета и поровой жидкости представлены в работах [5-8,16,17, 20]. Рассмотренные здесь задачи решены в плоской постановке для конкретной плотины. Методика решения нелинейных задач изложена в работах [14-16,18,19].

Работы [8, 9, 12-15] также посвящены разработке (в плоской постановке) теоретических предпосылок и методов для оценки динамики, напряженно-деформированного состояния, прочности и сейсмостойкости грунтовых плотин с учетом конструктивных особенностей, реальных условий работы сооружений и различных - линейных и нелинейных упругих, вязкоупругих, упругопластических и влажностных свойств грунта при различных воздействиях.

На сегодняшний день вопросы работы грунта под нагрузкой выяснены не до конца и одна из важных проблем здесь – нелинейное деформирование грунта, в частности, геометрически нелинейное деформирование.

Необходимость учета геометрически нелинейного деформирования грунтовых сооружений возрастает в связи со строительством высоких грунтовых сооружений. Вопрос о том, насколько этот фактор оказывает влияние на НДС, прочность сооружений и устойчивость откосов, пока остается недостаточно освещенным и требует широкого исследования.

Представленная работа посвящена разработке математической модели, методов и алгоритмов оценки напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений с учетом геометрической нелинейности грунта и проведению исследований напряженно-деформированного состояния конкретных грунтовых плотин при различных статических воздействиях.

**1. Модели, методы и алгоритмы для оценки напряженно-деформированного состояния сооружений**  
**1.1. Постановка задачи.**

Для прогноза НДС и динамики грунтовых плотин в трехмерной постановке рассматривается пространственная модель сооружения, представленная как неоднородная система (рис.1). Поверхности основания и боковых склонов  $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2$  - жестко заземлены, поверхность низового откоса  $\Sigma_3$  - свободна от напряжения, на поверхности  $S_p$  (части верхового откоса ниже линии НПУ) –

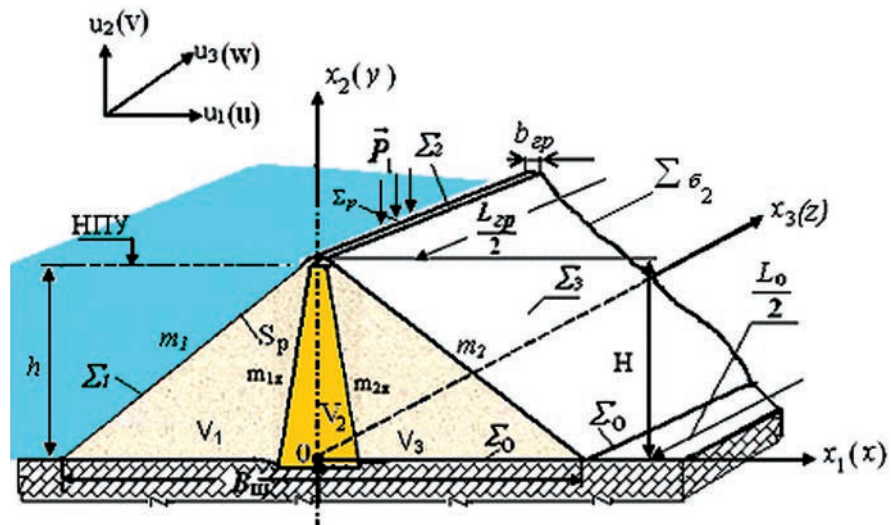


Рис. 1 Модель неоднородной трехмерной системы

действует давление воды, а на  $\Sigma_p$  поверхности гребня  $\Sigma_z$  - приложена внешняя нагрузка.

Здесь:  $V = V_1 + V_2 + V_3$  объем тела плотины ( $V_1, V_3$  - объемы верхней и нижней упорных призм,  $V_2$  - объем ядра);  $\Sigma_{q_1}, \Sigma_{q_2}$  - поверхности береговых склонов,  $\Sigma_o$  - поверхность основания по дну, а  $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$  - поверхности упорных призм и гребня.

Для моделирования процесса деформирования и динамики плотин (рис.1) в пространственной постановке используем вариационное уравнение Лагранжа, основанное на принципе Даламбера, для неоднородных деформируемых трехмерных тел:

$$-\int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_V \bar{f} \delta \bar{u} dV + \int_{\Sigma_p} \bar{P} \delta \bar{u} dS + \int_{\Sigma_p} \bar{P} \delta \bar{u} d\Sigma = 0, \quad i, j = 1, 2, 3. \quad (1)$$

Здесь,  $\bar{u}$ ,  $\varepsilon_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$ , - соответственно, вектор перемещений, тензоры деформаций и напряжений;  $\delta \bar{u}$ ,  $\delta \varepsilon_{ij}$  - изохронные вариации перемещений и деформаций;  $\rho_n$  - плотность материала элементов рассматриваемой системы (индекс  $n = 1, 2, 3$  означает часть системы, к которой относится данная величина);  $\bar{f}$  - вектор массовых сил;  $\bar{P}$  - вектор внешних сил, приложенных к площади  $\Sigma_p$ ;  $\bar{P}$  - давление воды (сумма гидродинамического и гидростатического давлений [21]), возникающее в результате взаимодействия сооружения с водной средой и определяемое в точке  $(x_1, x_2)$ .

Далеко не все вопросы работы грунта под нагрузкой выяснены до конца. На этот счет существует много различных теорий, более или менее сложно реализуемых в решении конкретных задач. Одна из важных проблем здесь - учет нелинейного деформирования сооружений, в частности, геометрически нелинейного деформирования, т.е. конечной деформации [14, 18, 19].

В теоретическом плане геометрически - нелинейное деформирование при решении конкретных задач заключается в удержании в компонентах тензора деформации  $\varepsilon_{ij}$  не только линейных, но и квадратичных членов от производных перемещений по координатам, т.е.:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i} + u_{\ell,j} * u_{\ell,i}), \quad i, j, \ell = 1, 2, 3 \quad (2)$$

Во всех рассматриваемых задачах вектор перемещений в пространственной системе координат  $\bar{x} = \{x_1, x_2, x_3\} = \{x, y, z\}$  имеет три компоненты  $\bar{u} = \{u_1, u_2, u_3\} = \{u, v, w\}$ .

Далее при создании математических моделей учитываются следующие граничные условия:

$$\bar{x} \in \Sigma_o: \bar{u} = 0 \quad (3)$$

Теперь общую вариационную задачу можно сформулировать следующим образом: необходимо определить поля перемещений  $\bar{u}$ , деформаций  $\varepsilon_{ij}$  и напряжений  $\sigma_{ij}$  в нелинейной неоднородной пространственной системе (рис.2.7), возникающие под действием массовых ( $\bar{f}$ ), внешних сил ( $\bar{P}$ ), а также давления воды  $\bar{P}$ , удовлетворяющие уравнениям (1), (2) и соответствующие граничным условиям (3) при любом возможном перемещении  $\delta \bar{u}$ .

## 1.2. Метод и алгоритм решения задачи

**1.2.1. Для неоднородной линейной упругой системы** (рис.1), находящейся под действием статической нагрузки, вариационное уравнение (1) с использованием процедуры метода конечных элементов сводится к

решению системы линейных алгебраических уравнений  $N$ -ого порядка -

$$[K] \{u\} = \{F\} \quad (4)$$

в которой элементы матрицы жесткости системы постоянны и зависят только от упругих физико-механических параметров материала сооружения.

**1.2.2. Для геометрически нелинейных неоднородных упругих систем** (рис.1), находящихся под действием статической нагрузки, вариационное уравнение (1) с использованием процедуры метода конечных элементов [[8, 22]], сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений  $N$ -ого порядка -

$$[K(u)] \{u\} = \{F\} \quad (5)$$

в которой элементы матрицы жесткости  $[K(u)]$  переменны и зависят не только от геометрических и физических параметров сооружения, но и от узловых перемещений;  $\{u\}$ ,  $\{F\}$  - вектор внешней нагрузки от массовых сил, гидростатического давления воды.

Далее система нелинейных алгебраических уравнений (5), заменяется эквивалентной системой вида [8, 23]:

$$[K] \{u\} = \{F\} - [K_n(u)] \{u\} \quad (6)$$

где  $[K]$  - матрица жесткости линейно-упругой задачи;  $[K_n] \{u\}$  - нелинейная часть матрицы жесткости, зависящая от перемещения узлов системы, полученная в результате выделения из матрицы  $[K \{u\}]$  ее линейной составляющей -  $[K]$ .

Для решения уравнения (6) используется метод последовательного приближения [23], сходимость которого определяется выбором начального приближения  $\{u_0\}$ . В качестве начального приближения используется решение линейно-упругой задачи:

$$[K] \{u_0\} = \{F\} \quad (7)$$

Дальнейшие приближения находятся по формуле:

$$[K] \{u_{s+1}\} = \{F\} - [K_n \{u_s\}] \{u_s\}, \quad s = 0, \dots, n \quad (8)$$

Критерием окончания итерации является выполнение условия:

$$|u_{s+1} - u_s| \leq \varepsilon \quad (9)$$

где  $\varepsilon$  - заданная точность.

## 2. Результаты оценки напряженно-деформированного состояния

В данном разделе с помощью разработанной методики, алгоритма и программы расчета на ЭВМ исследуется напряженно-деформированное состояние грунтовых плотин при различных статических нагрузках с учетом геометрической нелинейности: 1) Гиссаракская плотина: высота  $H = 138.5$  м, ширина гребня  $b_g = 16.0$  м, заложение откосов  $m_1 = 2.2$  и  $m_2 = 1.9$ ; 2) Пачкамарская плотина: высота  $H = 70.0$  м, ширина гребня  $b_g = 8.0$  м, заложение откосов  $m_1 = 2.0$  и  $m_2 = 2.0$ . При конкретных расчетах учитывались неоднородность, конструктивные особенности, реальная геометрия и упругие характеристики материала для каждого отдельного участка сооружения.

**2.1. Определялись компонент напряжений для моделей однородных грунтовых плотин** различной высоты ( $H = 25$  м;  $H = 50$  м;  $H = 70$  м). Остальные геометрические и физико-механические параметры моделей оставались неизменными:  $m_1 = 2.0$ ;  $m_2 = 2.0$ ;  $E = 83500$  тс/м<sup>2</sup>;  $\gamma = 1.9$  тс/м<sup>3</sup>;  $\mu = 0.3$ . После проведения расчетов сравнивались результаты, полученные с учетом и без учета геометрической нелинейности.

На рис.2 показано относительное различие (в %) результатов линейного и нелинейного расчета компонент

напряжений в центральном сечении плотин под действием собственного веса сооружения. Разница определялась по формуле  $((\sigma_{ij}^{нл} - \sigma_{ij}^{л}) * 100\%) / \sigma_{ij}^{л}$ . Здесь:  $\sigma_{ij}^{л}$  - компонента напряжений линейного расчета,  $\sigma_{ij}^{нл}$  - компонента напряжений с учетом геометрической нелинейности.

Результаты (рис.2), полученные для однородных плотин различной высоты показывают, что учет геометрической нелинейности увеличивает напряжения при каждом двадцатиметровом увеличении высоты сооружения приблизительно на 2% по сравнению с линейным расчетом.

2.2. Рассмотрено НДС однородной Гиссаракской грунтовой плотины под действием собственного веса с учетом геометрической нелинейности.

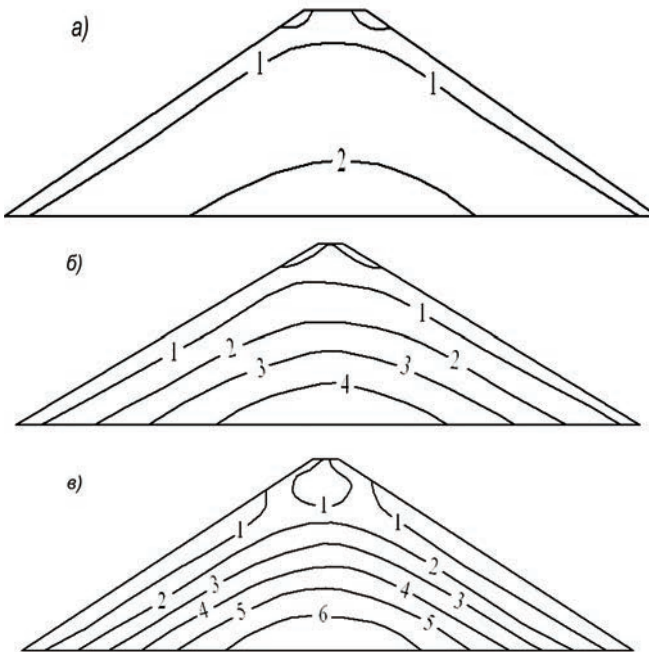


Рис.2. Изолинии разницы (в %) линейного и нелинейного расчета напряжений  $\sigma_{22}$  в сечении однородных плотин различной высоты: H=25м - (а); H=50м - (б); H=70м - (в)

На рис.3 показаны изолинии напряжений  $\sigma_{11}^{нл}$  в однородной Гиссаракской плотины под действием собственного веса сооружения с учетом геометрической нелинейности (рис.3 а) и изолинии разницы (в %) между результатами линейного и геометрически нелинейного расчетов - (рис.3б).

На рис.4 показаны изолинии напряжений  $\sigma_{22}^{нл}$  для рассматриваемой плотины с учетом геометрической нелинейности (рис.4а) и разницы (в%) между линейным и геометрически нелинейным расчетами - (рис.4б).

Анализ результатов рис.3 и рис.4 показывает, что в высоких сооружениях проявляются нелинейные составляющие деформации. Учет нелинейных составляющих при расчете дает отличие по сравнению с линейным расчетом в 15-20%, что подтверждает сделанные ранее выводы по результатам рис.2 для однородного сооружения, что с увеличением высоты на каждые 20 м учет геометрической нелинейности увеличивает значения компонента напряжения примерно на 2%.

2.3. Проведена оценка НДС неоднородной Гиссаракской грунтовой плотины с учетом геометрически нели-

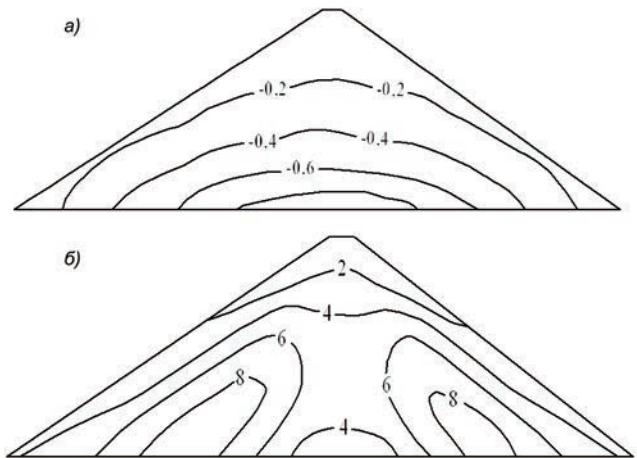


Рис.3. Изолинии горизонтальных напряжений  $\sigma_{11}$  (МПа) в сечении однородной плотины под собственным весом с учетом геометрической нелинейности-(а) и разницы (в %) между линейным и нелинейным расчетами - (б).

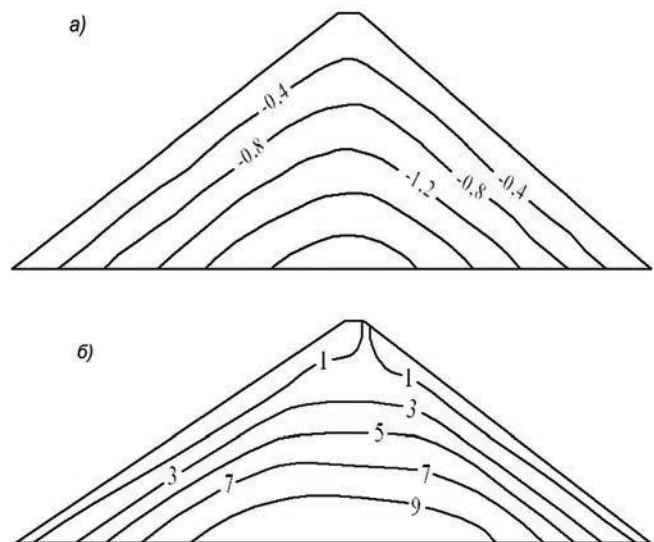
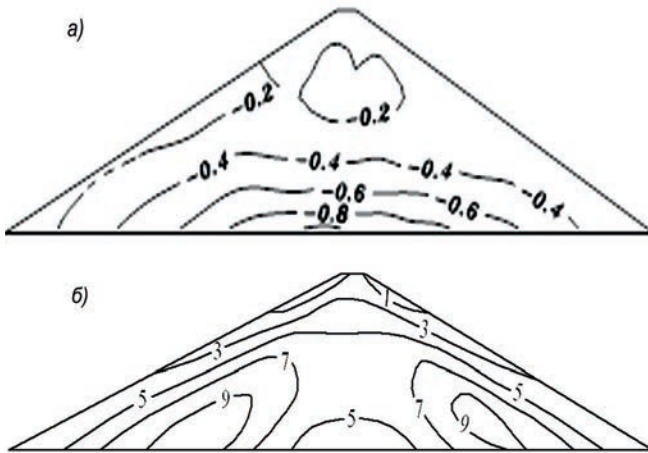


Рис.4. Изолинии горизонтальных напряжений  $\sigma_{22}$  (МПа) в сечении однородной плотины с учетом геометрической нелинейности (а) и различие (в %) между линейным и нелинейным расчетами (б)

нейного деформирования. Неоднородность конструкции связана с наличием ядра в центре плотины.

На рис.5 показаны изолинии напряжений  $\sigma_{11}^{нл}$  для неоднородной Гиссаракской плотины под собственным весом с учетом геометрической нелинейности - (а), а также различие в напряжениях по линейным и нелинейным расчетам (в %) - (б).

Анализ результатов рис.5 показывает, что для неоднородной плотины учет геометрической нелинейности приводит к некоторому изменению горизонтальных напряжений  $\sigma_{11}^{нл}$  в откосах, в верховом откосе и ядре. При этом в нижней части верхового откоса появляется большая вероятность, по сравнению с упругим случаем, возникновения выпора грунта, а на границе с ядром - большая вероятность появления трещин.

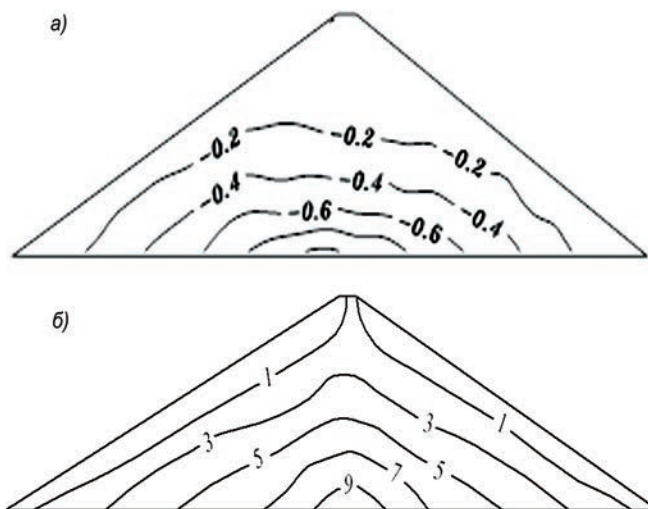


**Рис.5. Изолинии горизонтальных напряжений  $\sigma_{11}^{nl}$  (МПа) в сечении неоднородной Гиссаракской плотины с учетом геометрической нелинейности (а) и разница между линейным и нелинейным расчетами (в %) – (б).**

Изолинии главного напряжения в центральном сечении неоднородной плотины  $\sigma_1^{nl}$ , полученные с учетом геометрической нелинейности, а также изолинии разницы между напряжениями  $\sigma_1^{nl}$  и  $\sigma_1^l$  (в %), приведены на рис.6.

Здесь (рис.6б) также наблюдается отличие (до 10%) главных напряжений, полученных при нелинейном ( $\sigma_1^{nl}$ ) и линейном ( $\sigma_1^l$ ) расчетах. Тем самым подтверждается, что учет неоднородности конструкции приводит к увеличению сжимающих напряжений, по сравнению с однородным сооружением по всему телу плотины, причем в большей степени – в центральной части ядра.

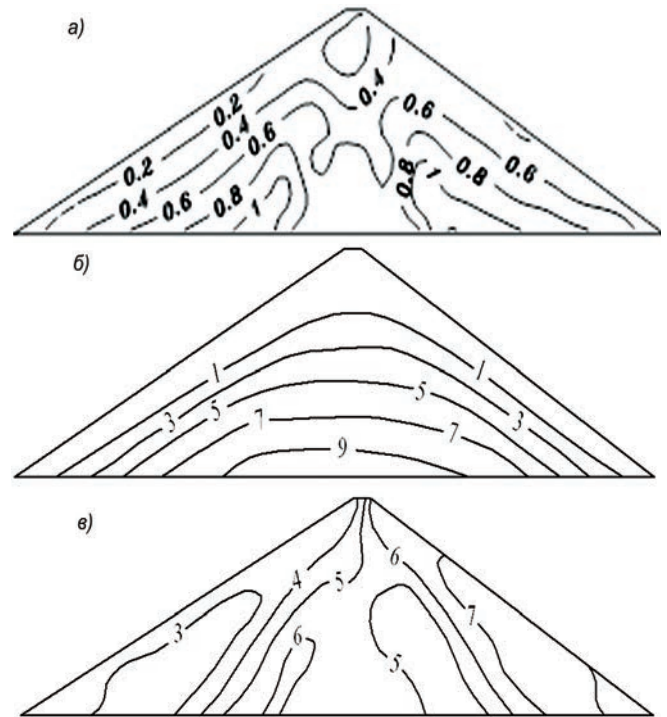
На рисунке 7 показаны изолинии интенсивности напряжений  $\sigma_i$  в центральном сечении неоднородной Гиссаракской плотины под собственным весом: геометрически нелинейный расчет (рис.6а) и разница (в%) между ( $\sigma_i^l$ ) и ( $\sigma_i^{nl}$ ) - рис.6 в, а также между максимальными касательными напряжениями  $\tau_{max}$  в линейном и нелинейном расчетах (рис.6в).



**Рис.6. Изолинии главного напряжения  $\sigma_1^{nl}$  (МПа) в сечении неоднородной плотины с учетом геометрической нелинейности - (а) и изолинии различия (в%) между линейным и нелинейным расчетом - (б).**

Из рис.7б также видно значительное (до 10%) отличие интенсивности напряжений  $\sigma_i^{nl}$  для неоднородных плотин с учетом геометрической нелинейности по сравнению с напряжениями  $\sigma_i^l$ , полученными в рамках линейной задачи (для неоднородного сооружения) и отличие в значениях  $\tau_{max}$ , максимум которого приходится на стыки ядра и откосах, что может также привести к образованию трещин в пригребневой зоне и по стыкам разнородных по материалу участков плотины.

Отмеченные эффекты возникают в высоких неоднородных плотинах. Поэтому при оценке прочности высоких сооружений необходим учет геометрически нелинейного деформирования и реальных конструктивных особенностей.



**Рис.7. Изолинии интенсивности напряжений  $\sigma_i^{nl}$  (МПа) в сечении неоднородной Гиссаракской плотины с учетом геометрической нелинейности (а) и изолинии различия (в%)  $\sigma_i$  - (б) и  $\tau_{max}$  - (в)**

**Выводы.**

1. Разработаны методы, алгоритмы и программы на ЭВМ для оценки напряженно-деформированного состояния неоднородных грунтовых плотин с учетом геометрической нелинейности при статических нагрузках.
2. Исследования НДС грунтовых плотин при статических воздействиях с учетом геометрически нелинейной деформации показали, что учет конечной деформации приводит к заметному изменению НДС в высотных сооружениях и приводит к увеличению всех компонент напряжений приблизительно на 2% (по сравнению с линейным случаем) при увеличении высоты сооружения на каждые 20 метров.
3. Учет конструктивной неоднородности и геометрической нелинейности сооружения при статических воздействиях приводит к изменению полей напряжений, по сравнению с однородным сооружением. При этом в верхней части стыка ядра с переходной зоной и верховым откосом наблюдается большая концентрация напряжений, являющаяся причиной нарушения прочности в этих зонах.

Данная работа была доложена на Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений» проведенная 22-23 мая 2018 года в г.Ташкенте и рекомендована к публикации в журнале "Irrigatsiya va melioratsiya".

| №  | References                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Литература                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Vstupitel'noe slovo zamistitelya ministra po chrezvychnym situatsiyam Respubliki Uzbekistan T.D.Turagalova [Introductory remarks by the Deputy Minister for Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan T.D.Turagalov]. Materialy Respublikanskoj nauchno - prakticheskoy konferentsii "Problemy nadyozhnosti i bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy", 22-23 november 2006. Tashkent, Uzbekistan Publ., 2006. pp.19-21. | Вступительное слово заместителя министра по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан Т.Д.Турагалова. //Материалы Республиканской научно-практической конференции "Проблемы надёжности и безопасности гидротехнических сооружений", посвященной 60-летию факультета «Строительство и эксплуатация ирригационных гидротехнических сооружений», 22-23 ноября 2006 г. – Ташкент: «Узбекистан», 2006. – С.19-21. |
| 2  | Bakiev M.R. Otsenka nadezhnosti i bezopasnosti vodokhranilishchnykh gidrouzlov [Evaluation of the reliability and safety of water storage reservoirs]. Materialy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii "Problemy nadyozhnosti i bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy", 22-23 november 2006. Tashkent, Uzbekistan Publ., 2006. pp.21-24.                                                                           | Бакиев М.Р. Оценка надёжности и безопасности водохранилищных гидрорезервуаров. //Материалы Республиканской научно-практической конференции "Проблемы надёжности и безопасности гидротехнических сооружений" посвященной 60-летию факультета «Строительство и эксплуатация ирригационных гидротехнических сооружений», 22-23 ноября 2006 г. – Ташкент: «Узбекистан», 2006. – С.21-24.                            |
| 3  | Mirtskhulava Ts.E. Nadezhnost' gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Reliability of hydraulic structures]. Moscow, 1974.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Мирцхулава Ц.Е. Надёжность гидротехнических сооружений. -М.: 1974.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4  | Glagovskiy V.B., Finagenov O.M. Otsenka bezopasnosti gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy pri zemletryasenii [Assessment of safety of groundwater hydraulic structures in an earthquake]. Izvestiya VNIIG im. B.E.Vedneeva. Tashkent, 2000. pp.28-33.                                                                                                                                                                            | Глаговский В.Б., Финагенов О.М. Оценка безопасности грунтовых гидротехнических сооружений при землетрясении//Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2000. -Т. 238. -С. 28-33.                                                                                                                                                                                                                                      |
| 5  | Zaretskyiy Yu.K., Lombardo V.N. Statika i dinamika gruntovykh plotin [Static and dynamics of soil dams]. Moscow, Energoizdat Publ., 1983. 256 p.                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Зарецкий Ю.К., Ломбардо В.Н. Статика и динамика грунтовых плотин. М.: Энергоиздат, 1983.-256 с.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 6  | Krasnikov N.D. Seysmostoykost' gidrotekhnicheskikh sooruzheniy iz gruntovykh materialov [Seismic resistance of hydraulic structures from soil materials] Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 240 p.                                                                                                                                                                                                                                       | Красников Н.Д. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов.- М.: Энергоиздат, 1981.- 240 с.                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 7  | Lyakhter V.M., Ivashenko I.N. Seysmostoykost' gruntovykh plotin [Seismic resistance of ground dams]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 233 p.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Ляхтер В.М., Ивашенко И.Н. Сейсмостойкость грунтовых плотин. -М.: Наука, 1986. - 233 с.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 8  | Mirsaidov M.M. Teoriya i metody rascheta gruntovykh sooruzheniy na prochnost' i seysmostoykost' [Theory and methods of calculating soil structures for strength and seismic resistance]. Tashkent, Fan Publ., 2010. 312 p.                                                                                                                                                                                                             | Мирсаидов М.М. Теория и методы расчета грунтовых сооружений на прочность и сейсмостойкость.- Ташкент: Фан, 2010.-312 с.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 9  | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Theory and Methods of Strength Assessment of Earth Dams. Lambert Academic Publishing. Saarbrucken, Deutschland, Germany, 2015. 341 p.                                                                                                                                                                                                                                                                    | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Theory and Methods of Strength Assessment of Earth Dams. Lambert Academic Publishing. Saarbrucken/ Deutschland \ Germany\ , 2015. 341 p.                                                                                                                                                                                                                                          |
| 10 | Akmedov M.A., Salyamov K.Dzh. Analiz i otsenka povrezhdeniy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Analysis and evaluation of damage to hydraulic structures]. Tashkent, Fan va tekhnologiya Publ., 2016. 160 p.                                                                                                                                                                                                                             | Ахмедов М.А., Салямов К.Дж. Анализ и оценка повреждений гидротехнических сооружений.- Ташкент: "Фан ва технология", 2016, 160 с.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 11 | Rasskazov L.N., Bestuzheva A.S. Seysmostoykost' gruntovykh plotin [Bestuzheva A.S. Seismic resistance of ground dams]. Gidrotekh. stroitel'stvo. Moscow, 1997. no.3. pp.13-19.                                                                                                                                                                                                                                                         | Рассказов Л.Н., Бестужева А.С. Сейсмостойкость грунтовых плотин / Гидротех.строительство. - М.:1997. - №3. - С.13-19.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Abdikarimov R.A., Ishmatov A.N., Yuldoshev B.Sh., Toshmatov E.S., Jurayev D.P. Strength parameters of earth dams under various dynamic effects. Magazine of Cive Engineering, 2018. no.1. pp.101-111. doi:10.18720/MCE.77.9.                                                                                      | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Abdikarimov R.A., Ishmatov A.N., Yuldoshev B.Sh., Toshmatov E.S., Jurayev D.P. Strength parameters of earth dams under various dynamic effects. Magazine of Cive Engineering, 2018. no.1. pp.101-111. doi:10.18720/MCE.77.9.                                                 |
| 13 | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Khodzhaev D.A. Assessment of the Stress-Strain State of Earth Dams. CivilComp Press, Stirlingshire, UK, Paper 108, 2012. doi:10.4203. Pp.100-118. URL: <a href="http://www.ctresources.info/ccp/paper.html?id=7248">http://www.ctresources.info/ccp/paper.html?id=7248</a> .                                      | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Khodzhaev D.A. Assessment of the Stress-Strain State of Earth Dams. CivilComp Press, Stirlingshire, UK, Paper 108, 2012. doi:10.4203. Pp.100-118. URL: <a href="http://www.ctresources.info/ccp/paper.html?id=7248">http://www.ctresources.info/ccp/paper.html?id=7248</a> . |
| 14 | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Assessment of stress-strain state of earth dams with allowance for non-linear strain of material and large strains. Magazine of Cive Engineering, 2014. no.5. pp.73-82. doi: 10.5862/MCE.49.8.                                                                                                                     | Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Assessment of stress-strain state of earth dams with allowance for non-linear strain of material and large strains. Magazine of Cive Engineering, 2014. no.5. pp.73-82. doi: 10.5862/MCE.49.8.                                                                                |
| 15 | Sultanov T.Z., Khodzhaev D.A., Mirsaidov M.M., The assessment of dynamic behavior of heterogeneous systems taking into account non-linear viscoelastic properties of soil. Magazine of Cive Engineering, 2014. no.1. pp.80-89. doi: 10.5862/MCE.45.9.                                                                                            | Sultanov T.Z., Khodzhaev D.A., Mirsaidov M.M., The assessment of dynamic behavior of heterogeneous systems taking into account non-linear viscoelastic properties of soil. Magazine of Cive Engineering, 2014. no.1. pp.80-89. doi: 10.5862/MCE.45.9.                                                       |
| 16 | Sultanov K.S. Nelineyny zakon deformirovaniya myagkikh gruntov [Nonlinear law of deformation of soft soils]. Prikladnaya matematika i mekhanika. Vol.62. Moscow, Issue 3. pp.503-511.                                                                                                                                                            | Султанов К.С. Нелинейный закон деформирования мягких грунтов// Прикладная математика и механика. Т.62. -М., 1998. Вып.3. - С. 503-511.                                                                                                                                                                      |
| 17 | Sultanov K.S. Volnovaya teoriya seymstoykosti podzemnykh sooruzheniy [Wave theory of seismic resistance of underground structures]. Tashkent, Fan Publ., 2016. 392 p.                                                                                                                                                                            | Султанов К.С. Волновая теория сейсмостойкости подземных сооружений.-Ташкент: «Фан», 2016, - 392 с.                                                                                                                                                                                                          |
| 18 | Koltunov M.A., Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Transient vibrations of axissymmetric viscoelastic shells. Polymer Mechanics. 1978. no.2. pp.290-295.                                                                                                                                                                                             | Koltunov M.A., Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Transient vibrations of axissymmetric viscoelastic shells. Polymer Mechanics. 1978. No.2. Pp.290-295.                                                                                                                                                        |
| 19 | Ishmatov A.N., Mirsaidov M. Nonlinear vibrations of an axisymmetric body acted upon by pulse loads. Soviet Applied Mechanics Prikladnaya Mekhanika, Vol.27, No.4, 1991. pp. 68-74.                                                                                                                                                               | Ishmatov A.N., Mirsaidov M. Nonlinear vibrations of an axisymmetric body acted upon by pulse loads// Soviet Applied Mechanics Prikladnaya Mekhanika, Vol.27, No.4, 1991. pp. 68-74.                                                                                                                         |
| 20 | Salyamov K.D. Nestatsionarnye zadachi gruntovykh sooruzheniy pri seymicheskikh vozdeystviyakh s uchetom uprugoplasticheskikh svoystv materiala [Nonstationary problems of soil structures with seismic actions taking into account the elastoplastic properties of the material]. Journal of Problemy mekhaniki. Tashkent, 2003. no.4. pp.12-15. | Салямова К.Д. Нестационарные задачи грунтовых сооружений при сейсмических воздействиях с учетом упругопластических свойств материала // Ж.: Проблемы механики. – Ташкент, 2003. – №4. – С. 12-15.                                                                                                           |
| 21 | Mirsaidov M., Matkarimov P.Zh. Dinamicheskaya zadacha dlya gruntovykh sooruzheniy, vzaimodeystvuyushchikh s zhidkost'yu [Dynamic problem for soil structures interacting with a liquid]. Doklady AN RUz. Tashkent, 2007.                                                                                                                         | Мирсаидов М., Маткаримов П.Ж. Динамическая задача для грунтовых сооружений, взаимодействующих с жидкостью // Доклады АН РУз. –Ташкент, 2007. – №1. – С. 25-28.                                                                                                                                              |
| 22 | Bate K., Vilson E. Chislennyye metody analiza i MKE [Numerical methods of analysis and FEM]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1982. 448 p.                                                                                                                                                                                                              | Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и МКЭ. – Москва. – Стройиздат. 1982. – 448 с.                                                                                                                                                                                                                   |
| 23 | Kalitkin N.N. Chislennyye metody [Numerical methods]. Moscow, 1978. 512 p.                                                                                                                                                                                                                                                                       | Калиткин Н.Н. Численные методы.– Москва: Наука. – 1978. – 512 с.                                                                                                                                                                                                                                            |