

*На правах рукописи*

**ЧАПАГАЙН Бидур Прасад Шарма**

**СТАТИЧЕСКАЯ РАБОТА ТРУБОПРОВОДОВ,  
ЗАГЛУБЛЕННЫХ В НЕРАВНОМЕРНО ДЕФОРМИРУЕМОЕ  
ОСНОВАНИЕ**

**Специальность 05.23.02- «Основания и фундаменты, подземные  
сооружения»**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

**Санкт-Петербург- 2006**

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

**Научный руководитель:** кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Трунков Геннадий Трофимович

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
профессор Гольдин Александр Львович

кандидат технических наук,  
член Российского и Международного обществ  
по механике грунтов и геотехническому  
строительству  
Сирота Юрий Лазаревич

**Ведущая организация:** ЗАО «Механобр инжиниринг»  
(г. Санкт-Петербург)

Защита состоится «20.02» 2007 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.15 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, гидротехнический корпус 2, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «\_\_\_\_» 2007 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Бухарцев В.Н

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В силу протяженности подземных линейных сооружений, рельефа местности и неоднородности грунтовых условий основания, происходят неравномерные осадки, вызывающие неравномерные внутренние усилия в них. Не учет этих внутренних усилий приводит к неоправданному армированию трубопроводов и авариям на сооружениях. В основе прогноза взаимодействия трубопроводов с грунтовой средой лежит ряд положений механики грунтов, разработанных для оснований под промышленные и гражданские здания и сооружения. Исследования В.Г. Березанцева, С.С. Голушкевича, П.Д. Евдокимова, А. Како, Ж. Керизеля, Ф. Кеттера, М.В. Малышева, Г. Мейергоера, В.И. Повоторцева, Л. Прандтея, В.В. Соколоводского, К. Терцаги и многие другие в области предельного равновесия дали возможность разработать методику расчета прочности оснований.

Усилия Ж. Буссинеска, Н.М. Герсеванова, М.И. Горбунова-Посадова, К.Е. Егорова, Б.М. Жемочкина, Г.К. Клейна, Б.Г. Коренова, В.Г. Короткина, А.Н. Крылова, Е. Мелана, Р.Д. Миндвина, И.А. Симвулиди, В.А. Флорина, О.К. Фелиха, Н.А. Цитовича, О.Я. Шехтер и другие, направленные на решение задач применительно к упругому полупространству, завершились созданием теоретической базы для анализа взаимодействия конструкций и оснований в пределах практической линейной зависимости деформаций оснований от напряжений.

Приблизительными методами расчета подземных линейных сооружений на прочность и надежность являются:

1) Метод двух сил, 2) Предложение М. Шпенглера, 3) Метод Метропроекта, 4) Метод Б.Г. Галеркина, 5) Метод расчета Л.М. Емельянова, 6) Метод расчета М.В. Малышева, 7) Рекомендации Американского Института Труб, 8) Работы лаборатории ВМС США по гражданскому строительству, 9) Военные проектные нормы США и пр.

Существующие в настоящее время методики расчета подземных линейных сооружений требуют корректировки. Анализы аварий подземных линейных сооружений показали, что в большинстве случаев аварии происходят из за неравномерных деформаций основания, неправильного армирования железобетонных конструкций, неправильного учета нагрузок. В существующих методиках расчет ведется только на внешнее давление грунта на выделенное поперечное сечение. Не учитывается взаимодействие между поперечными сечениями.

**Актуальность темы диссертационной работы** определяется необходимостью прогнозирования внутренних усилий в коллекторах или трубопроводах и пр. в целях предотвращения аварийных ситуаций и увеличения надежности сооружений.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертации является разработка алгоритма расчета подземных линейных сооружений позволяющего повысить их надежность и экологическую безопасность. Были решены следующие задачи:

- 1) проведён анализ основных методов расчета причин аварий;
- 2) проанализированы факторы, влияющие на напряженно-деформированное состояние (НДС) коллекторов.
- 3) проанализированы математические модели, описывающие процессы формирования НДС основания и внутренних усилий в коллекторах.
- 4) на основании проведённого анализа факторов и математических моделей разработана методика расчёта коллекторов с учетом неравномерной деформации основания и неравномерных нагрузок.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке методики расчёта коллекторов, учитывающей неоднородность и нелинейность физико-механических свойств грунтов, наращивание нагрузок во время эксплуатации, неравномерные деформации грунтов основания по длине коллекторов, внутренние усилия в коллекторах и их продольное армирование.

**Практическая значимость.**

Применение разработанной методики позволяет повысить точность прогноза напряженно-деформированного сооружения (НДС) коллекторов, что делает более достоверной оценку надежности и экологической безопасности рассматриваемых сооружений:

- 1) Разработаны методика, алгоритм и программа оценки надежности подземных линейных сооружений, включающая оценку неравномерной деформации основания, наращивания нагрузок, внутренних усилий в коллекторах и армирования железобетонных конструкций.
- 2) Проведены расчетные исследования коллектора Учалинского ГОКа, которые были использованы при проектировании институтом АОЗТ “Механобр инжиниринг” реконструкции хвостохранилища.

**На защиту выносятся:**

- Методика оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) подземных линейных сооружений. Методика, основана на численных решениях на основе МКР и МКЭ;
- Результаты численного моделирования НДС коллекторов, трубопроводных систем и др. для проектируемых и действующих сооружений накопителей гражданских и промышленных отходов.

**Достоверность научных результатов и основных выводов** подтверждается хорошим соответствием полученных автором теоретических (расчётных) результатов и данных практических наблюдений на накопителях гражданских и промышленных отходов.

**Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации** заключается в самостоятельной разработке методики расчётов подземных линейных сооружений, выполнении по ней конкретных вычислений с учетом реальных характеристик грунтов, скорости наращивания нагрузок для хвостохранилища Учалинского ГОКа. Автором также разработана методика определения продольных арматур в коллекторах с учетом их максимальных внутренних усилий и стыковки разных участков.

**Апробация работы.** Основные положения, изложенные в диссертационной работе, представлены и обсуждены на Научно-технической конференции студентов (в рамках Недели науки СПбГПУ, Санкт-Петербург, 2004), IX Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» (СПбГПУ, 2005), Региональной конференции по проблемам экологии Санкт-Петербурга и Ленинградской области (Русское Географическое Общество, Санкт-Петербург, 2005), Шестом международном молодёжном экологическом форуме «ЭКОБАЛТИКА'2006» (Санкт-Петербург, 2006).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 128 страницах машинописного текста, включает 7 таблиц и 26 рисунков. Список использованной литературы содержит 38 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** сформулирована актуальность темы работы, показана её практическая значимость, научная новизна и определена цель исследования.

**В первой главе** приведен обзор современного состояния методов расчета подземных линейных сооружений. Дается обзор существующих методов решения. Из анализа рассмотренных моделей и аварий делается вывод о необходимости учета неоднородной деформации в зависимости от вида грунтов основания, нагрузок и скорости наращивания нагрузок. Ставится цель разработки универсальной методики расчета позволяющей в рамках единого программного комплекса решать широкий круг задач обеспечения конструктивной и экологической безопасности.

Исследованы причины аварии коллектора в объединенном хвостохранилище Алмалыкского горно-обогатительного комбината в Узбекистане (рис.1) и мелиоративной плотины на реке Кузьминка – Ленинградской области (рис.2). Общей причиной аварий является влияние неравномерной просадки и деформаций грунтов основания,

неравномерных изменений нагрузок над сооружением и не правильного армирования коллекторов.

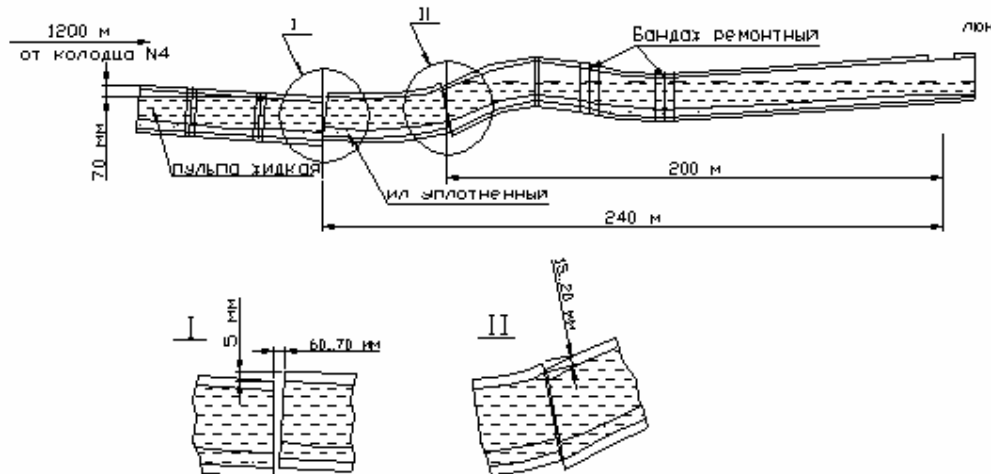


Рис. 1. Схема левого трубопровода I коллектора (сост. 4.12.2001г.) по ЧФ.САЕ “Босс”

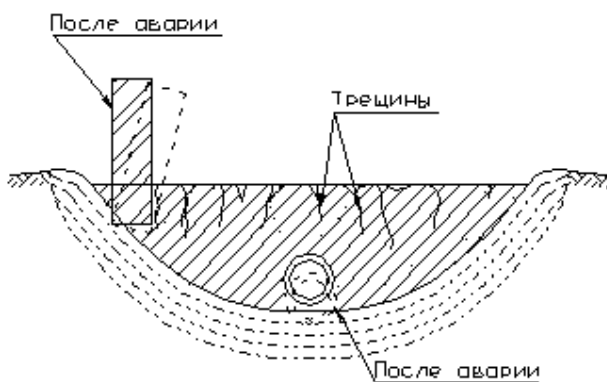


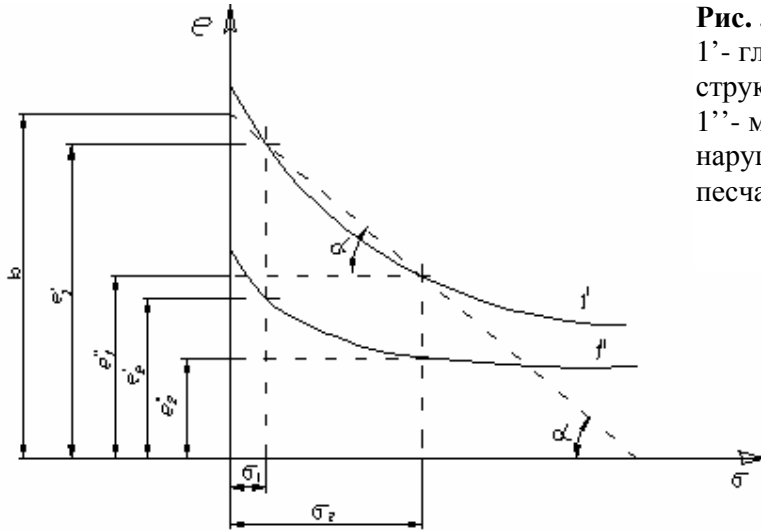
Рис. 2. Схема мелиоративной плотины на реке Кузьминка после аварии

Обоснована необходимость изучения процессов НДС подземных трубопроводов (коллекторов) на слабых грунтах при применении современной технологии и вычислительной математики с помощью ЭВМ, чтобы получить более подходящие результаты в действительности без существенных затрат времени.

**Во второй главе** приведены основные допущения методики расчета подземных линейных сооружений на неравномерно-деформированном основании. Рассматривается учет неоднородности и нелинейной деформируемости грунтов основания сооружений, учет неравномерной нагрузки на основания и учет влияния нестабилизированного состояния грунта в процессе его консолидации во времени.

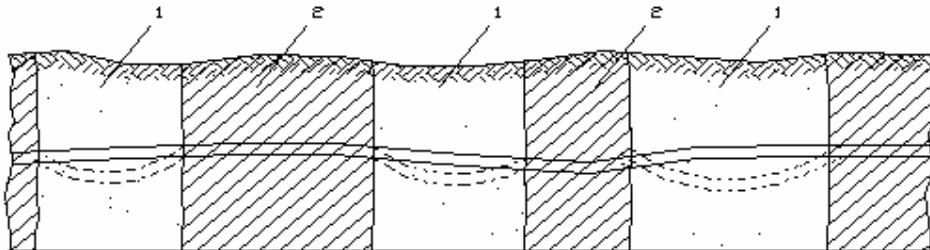
Представлены таблицы классификации грунтов по их гранулометрическим составам и значению модулей деформаций. Деформации сжатия грунтов в основном определяются изменением пористости, а следовательно, могут оцениваться изменением коэффициента пористости ( $e$ ) при изменении сжимающих напряжений ( $\sigma$ ), в скелете грунта. Результаты

выполненных расчетов при определении зависимости между  $e$  и  $\sigma$  в скелете грунта в лабораторных условиях обычно представляют графически в виде так называемой “компрессионной кривой” (рис.3). Рассмотрены основные процессы уплотнения различных грунтов во времени.



**Рис. 3.** Компрессионные кривые грунта:  $1'$  - глинистых грунтов с нарушенной структурой и рыхлых песчаных грунтов;  $1''$  - монолитов глинистых грунтов с нарушенной структурой и плотных песчаных грунтов

Отмечено, что осадка линейных сооружений по ряду причин (неоднородность строения основания и свойств слагающих его грунтов, неравномерность нагрузки и распределения напряжений в грунтовой толще и т.д.) всегда в той или иной мере неравномерна (рис.4).



**Рис. 4.** Схема деформаций трубопровода в различных грунтах (1 – слабый грунт, 2 – прочный грунт)

Рассмотрены основные уравнения плоской и пространственной задачи теории водонасыщенной земляной среды в рамках моделей объемных сил (по закону линейной теории упругости- В.А.Флорина и М. Био).

После анализа методов расчета трубопроводов и причин их аварий, сделаны следующие основные выводы: расчеты не учитывают:

- неоднородность свойств грунта в естественном состоянии и при действии на них внешних переменных нагрузок;

- ↷ неравномерность осадки оснований (линейных подземных) сооружений с учетом изменения характеристик грунтов во времени;
- ↷ неравномерность нагрузок вдоль главного направления линейных сооружений с учётом влияния временных факторов в период эксплуатации;
- ↷ внутренние усилия вдоль главной оси конструкции при армировании и при определении осадки основания и засыпки;
- ↷ изменение во времени процессов нелинейной консолидации и фильтрации в слабых водонасыщенных грунтах
- ↷ нестабилизированное состояние засыпки во времени вдоль всей оси линейных сооружений.

**В третьей главе** рассматриваются результаты расчета подземных линейных сооружений расположенных на основании из различных типов грунтов. Рассматривается алгоритм расчета и основные положения математической модели решения задачи по ПК SCAD и по программе GRUNTUS. На основании оценки неравномерных деформаций основания коллекторов при нестабилизированном состоянии грунтов во времени и анализа результатов, оценено влияние на напряженно-деформированного состояние (НДС) при различных грунтовых условиях, скорости нагружения и геометрической неоднородности основания.

Теоретической основой комплекса SCAD является метод конечных элементов (МКЭ) в форме метода перемещений. Выбор именно этой формы объясняется простотой алгоритмизации и физической интерпретации, возможностью создания единых методов построения матриц жесткости и векторов нагрузок для различных типов конечных элементов, возможностью учета произвольных граничных условий и сложной геометрии рассчитываемой конструкции.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) каждой материальной точки  $x$  конечного элемента, имеющего объем  $V$  и поверхность  $S$ , описывается векторами напряжений  $\sigma(x)$  и деформаций  $\varepsilon(x)$ , которые для линейной задачи теории упругости выражаются через вектор перемещений  $u(x)$ :

$$\sigma = M\varepsilon, \varepsilon = Bu, \quad (1)$$

где  $B$  — линейный матричный дифференциальный оператор;  $M$  — симметричная, положительно определенная матрица упругости закона Гука, зависящая только от жесткостных характеристик материала конструкции.

Описаны все этапы порядок выполнения операций по SCAD.



В программе GRUNTUS решается система уравнений плоской задачи, описывающих напряженно-деформированное состояние сооружения с учетом процесса консолидации. Она состоит из уравнений равновесия, связей между деформациями и напряжениями, уравнений консолидации, а также начальных и граничных условий к ним.

Для описания напряженного состояния в программе используется модель «гипотетического» грунта Герсеванова и известное допущение В.А.Флорина:

$$\sigma_x = \sigma_x^* - (P - P^*), \quad \sigma_y = \sigma_y^* - (P - P^*), \quad (2)$$

Где  $\sigma_x^*$ ,  $\sigma_y^*$ ,  $P^*$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $P$  - нормальные напряжения по соответствующим осям и поровое давление, соответственно, в стабилизированном и нестабилизированном состояниях.

Для решения задачи консолидации в программе используется дифференциальное уравнение консолидации, предложенное В.А.Флориным, учитывающее переменность характеристик грунта в процессе его уплотнения, а также постепенность роста сооружения по высоте (основная расчетная модель), имеющее следующий вид:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \frac{1}{2\gamma\omega} \frac{\partial Q^*}{\partial t} - \frac{1}{\gamma\omega} \frac{\partial p^*}{\partial t} = \frac{(1+e)(1+\xi)}{2\gamma\omega a(Q)} \left[ \left( \frac{\partial}{\partial x} (k_x(Q)) \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \left( \frac{\partial}{\partial y} (k_y(Q)) \frac{\partial H}{\partial y} \right) \right], \quad (3)$$

где  $H$  - полный напор,  $Q^*$ ,  $p^*$  - сумма главных напряжений и поровое давление в стабилизированном состоянии,  $\omega = 1 + \frac{\beta(1+e(Q))(1+\xi)}{2a(Q)}$

где  $\beta$  - коэффициент объемного сжатия газообразной среды,

$e$ ,  $a$  - коэффициенты пористости и уплотнения, определяемые по экспериментальной компрессионной зависимости,

$\xi$  - коэффициент бокового давления,

$t$  - время.

В качестве примера рассматривалась задача по определению НДС коллектора хвостохранилища. В решении этой задачи рассматривалось 2 варианта. Их исходные данные представлены в табл.1. Различие состоит лишь в значениях  $k_f$  для суглинка. Они приведены в левых верхних и правых нижних углах граф таблицы соответственно для варианта I и II. Расчетное поперечное сечение дамбы, образующей хвостохранилище, и коллектора приведено на рисунке 5.

Таблица 1. Исходные расчетные данные

№ зон	Наименование грунтов	$\rho_s$ , Т/м <sup>3</sup>	E, Т/м <sup>2</sup>	$\mu$	$a \cdot 10$ м <sup>2</sup> /Т	$\sigma$ , Т/м <sup>2</sup>								
						0			25			50		
						$e \cdot 10$			$k_{\phi} \cdot 10^{-5}$ м/сут					
1	Суглинок	2,75	2,5	0,4	0,285	5,5	5,4	5,3	50	10	1			
									5	1	0,1			
2	Супесь	2,70	1,6	0,3	0,76	6,6	6,2	6,1	500	100	50			
3	Песок крупный	2,65	4,0	0,3	0,287	5,5	5,4	5,3	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>			
4	Песок взвешенный	1,00	1,6	0,3	—	—	—	—	—	—	—			

Где  $\rho_s$  – плотность грунта, E – модуль деформации грунта,  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации грунта.

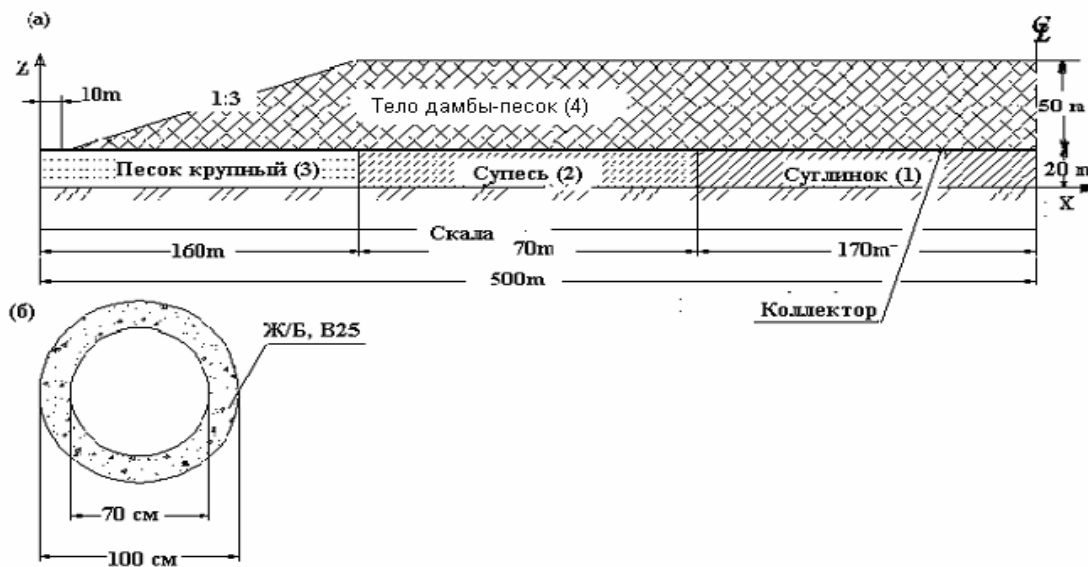


Рис.5. Расчетное поперечное сечение дамбы (а) и коллектора (б)

Схема разбивки расчетной области дамбы хвостохранилища по методу SCAD приведена на рис.6.

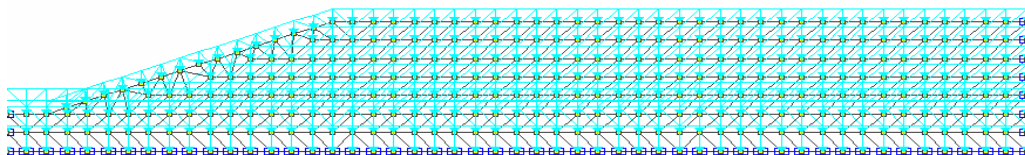
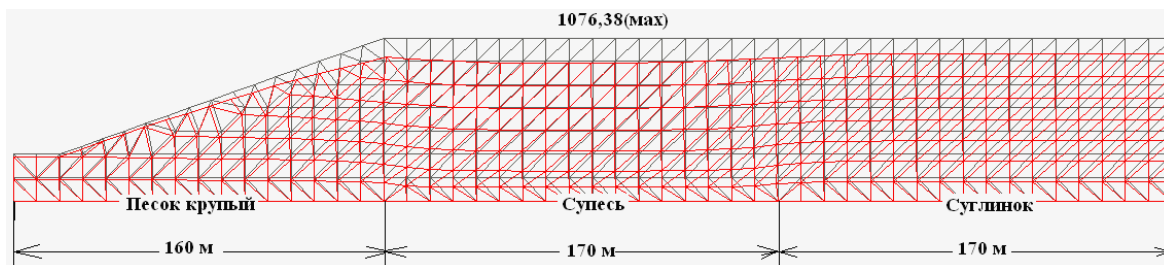


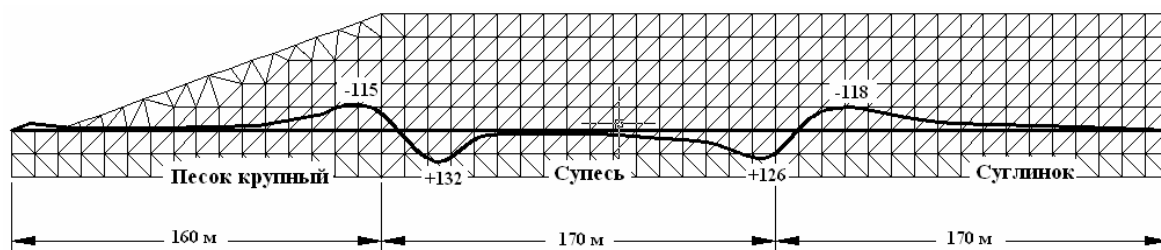
Рис.6. Схема разбивки расчетной области дамбы на конечные элементы

Разбивка расчетного сечения дамбы на конечные элементы по шагам 10 м проводится с учетом различий физико-механических свойств грунта. Для этого использована программа SCAD. Результаты расчетов представлены на рис.7. (Для железобетонного коллектора,  $D_n = 1.0$  м).

а)



б)

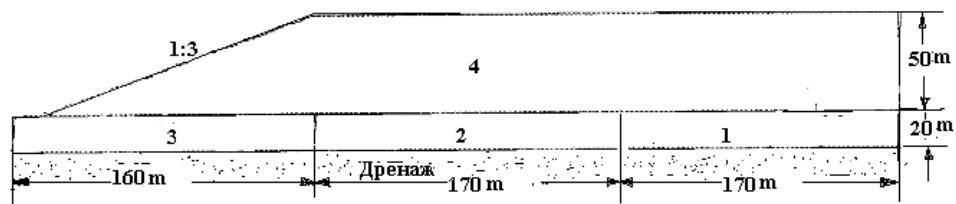


**Рис. 7.** Результаты расчетов по методу конечных элементов а- отображение деформированной схемы, б- эпюры изгибающих моментов  $M_u$  ( $T \cdot m$ ) в коллекторе

Результаты расчетов показывают, что максимальный изгибающий момент коллектора действует в местах изменений типа грунтов основания. Например, на границе между супесью и крупным песком в основании коллектора изгибающий момент будет максимальным. Этот факт говорит, о необходимости принятия решений для усиления основания и уменьшения внутренних усилий конструкции.

В целях сравнения процесса консолидации и нестабилизированной осадки грунтов основания были решены следующие задачи: **1) расчет процесса консолидации и нестабилизированной осадки неоднородного водонасыщенного основания и 2) расчет процесса консолидации и нестабилизированных осадок однородного водонасыщенного основания, представленного суглинками**

В решении задачи (1) рассматривались 2 варианта. Исходные данные обоих вариантов представлены в таб.1. Принятая схема дамбы приведена на рис.8. В качестве граничных условий расчета принимается что, нагрузка от сооружения прикладывается во времени.

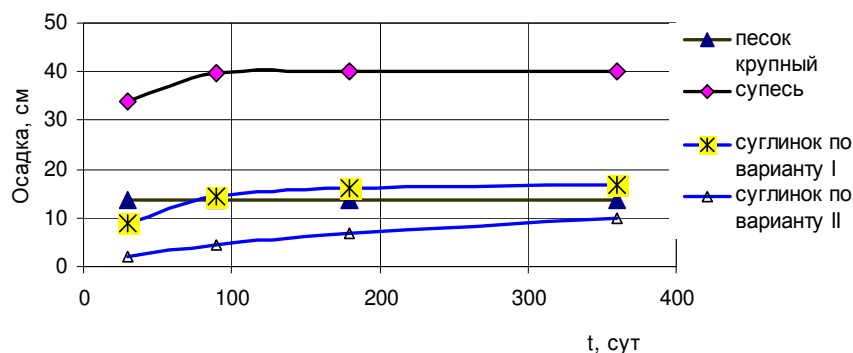


**Рис.8.** Схема дамбы с неоднородным водонасыщенным основанием

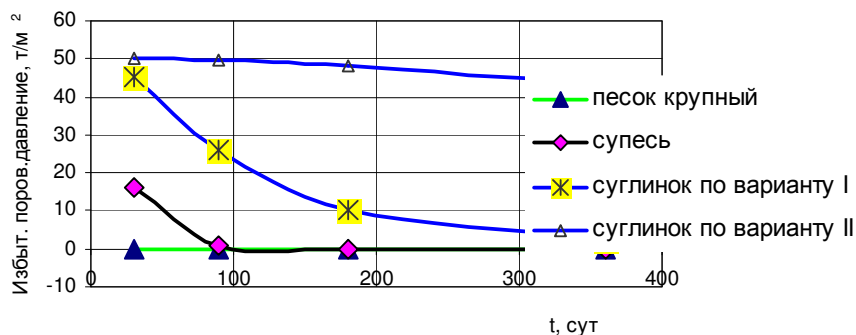
В обоих вариантах было определено следующее:

- Эпюры развития осадок основания по подошве сооружения (дамбы) для различных моментов времени.
- Эпюры изменения избыточных поровых давлений в неоднородном основании от давления сооружения для различных моментов времени.

Полученные результаты представлены на рис. 9 и 10. Как видно, развития осадок основания из супеси и крупного песка заканчивается в течении одного года ( $t=360$  сут.). Характер изменения осадки основания с суглинком развивается более медленно с течением времени. Изменение коэффициента фильтрации ( $K_f$ ) грунта основания и коэффициент уплотнения грунта влияют на величину и на характер распределения осадок, а также на поровое давление в грунтах основания. При проектировании трубопроводных систем необходимо рассматривать влияние развития осадок разных зон основания во времени.

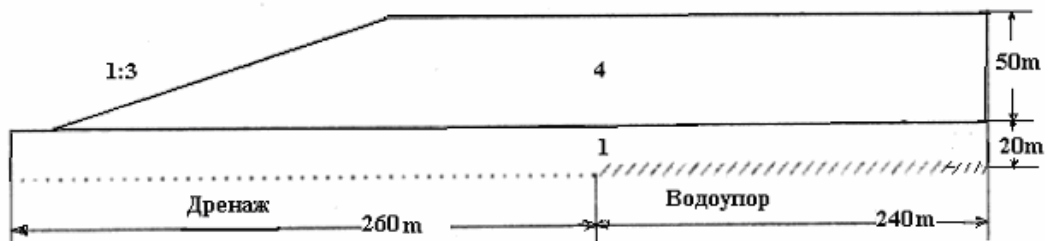


**Рис. 9.** Изменение осадок основания во времени



**Рис.10.** Изменение избыточного порового давления на грунты основания во времени

Для решения задачи (II) принимается следующая схема, представленная на рис.11. Физико-механические характеристики материала дамбы и основания приведены в таб. 1.



**Рис.11.** Схема дамбы с однородным водонасыщенным основанием (1,4- номер зон грунтов, отличающихся по физико-механическим свойствам, см. табл.1)

Представлены величины осадки основания как результаты расчета по подошве дамбы в различные моменты времени при условии, что основание дамбы частично лежит над дренажом и водоупорным грунтом. После анализа полученных результатов расчета можно сказать, что развитие осадок основания зависит от продолжительности действия нагрузок.

Из анализа вышеприведенных расчетов можно сделать следующие основные выводы:

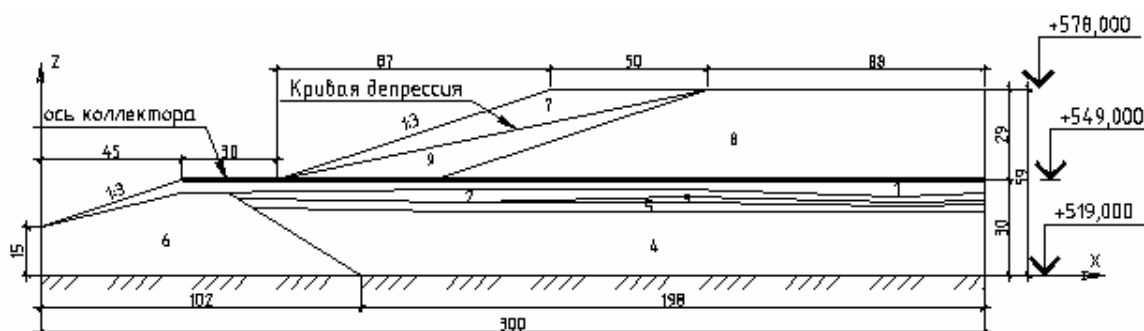
- Физико-механические характеристики однородного или неоднородного грунта основания любого типа сооружения не являются постоянными при действии внешних нагрузок от сооружения и с течением времени меняют свои свойства.
- Величина осадки основания из различных типов грунтов непрерывно увеличивается с момента действия нагрузок вне зависимости от свойств грунта.
- Расчетные физико-механические характеристики грунтов сильно влияют на надежность сооружения, поэтому необходимо исследовать изменения свойств грунтов до или после завершения строительных работ и во времени эксплуатации.
- Грунт всегда обладает нелинейными свойствами при действии внешних нагрузок, поэтому необходимо исследовать этот фактор при определении НДС трубопроводных систем для правильного армирования.
- Изучение вышеуказанных факторов при проектировании линейных сооружений, например, трубопроводной системы, позволяет учесть вероятностную природу свойств материалов конструкций и их оснований, а также нагрузок и воздействий; выделить параметры, оказывающие наибольшее влияние на надежность, и дать количественную оценку надежности сооружения в целом.

**В четвертой главе** на основании разработанной методики приводится расчет коллектора хвостохранилища Учалинского ГОКа при реальных характеристиках грунтов и нагрузок. В результате расчета, получены деформации основания, значения внутренних усилий в коллекторе по его длине и соответственно площади сечений продольной арматуры.

В запас прочности коллектора для определения поперечных сечений продольной арматуры были приняты максимальные внутренние усилия в коллекторе. Для удобства стыковки участков коллектора нами было принято разделение на 4 секции. Результаты расчетов были использованы при проектировании коллектора Учалинского ГОКа институтом АОЗТ «Механобор инжиниринг».

Свойства грунтов основания и их деформационные характеристики, приняты на основании данных инженерно-геологических изысканий по разделительной дамбе, выполненных «Ставрополь ТИСИЗ» в 2002 г. и СНиП 2.02.01-83 «Основания и фундаменты зданий и сооружений».

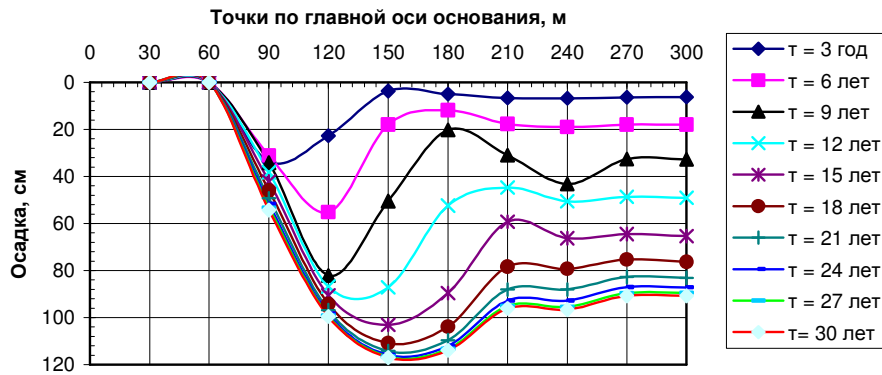
Расчет осадок и консолидации заданного основания во времени проводилось по программе GRUNTUS, разработанной в НИЛ механики грунтов и устойчивости хвостохранилищ СПбГПУ. На рис.12. приведена принятая для расчета схема хвостохранилища, построенная по оси коллектора при намыве до максимальной отметки 578,0 м.



**Рис. 12.** Расчетная схема хвостохранилища (все размеры на метрах)

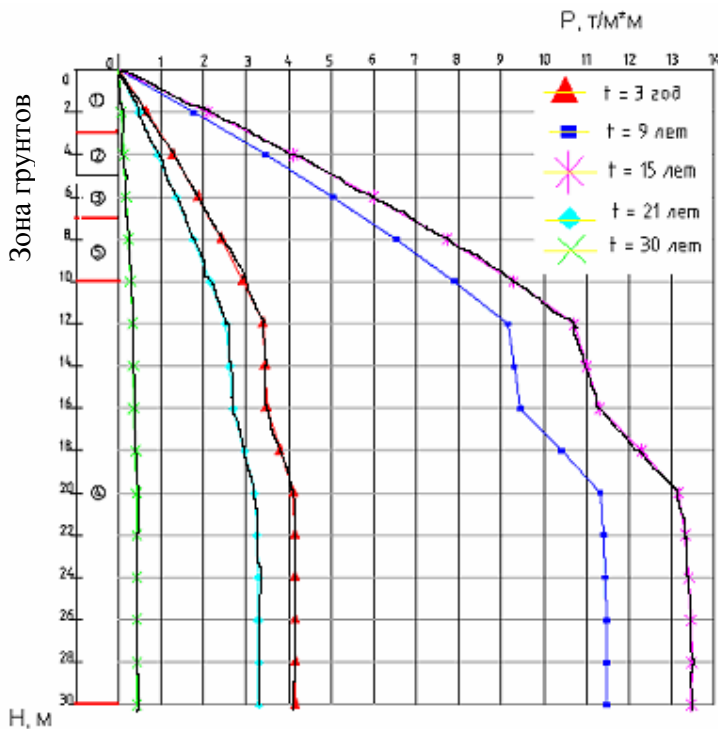
Коллектор представляет собой стальную трубу 1000x12, заключенную в железобетонный кожух.

Для этого расчетные исследования были разделены на несколько этапов. На каждом этапе «мгновенно» возводилась дамба высотой 2,0 м на год до отметки 578 м. Расчеты были рассмотрены через каждые 3 года в качестве шага расчетного времени. На рис. 13. приведены эпюры осадок основания коллектора в разные моменты времени и эпюры стабилизированных осадок. Как показали расчеты, максимальная стабилизированная осадка основания под центром левой боковой призмы мощностью 29,0 м возведенной до отметки 578 м составляет 117 см. Время полной стабилизации зависит от скорости процесса консолидации, которое равняется 30 лет в данном случае.



**Рис.13.** Эпюры осадок основания во времени

На рис. 14. показаны графики изменения избыточного порового давления по глубине основания во времени.



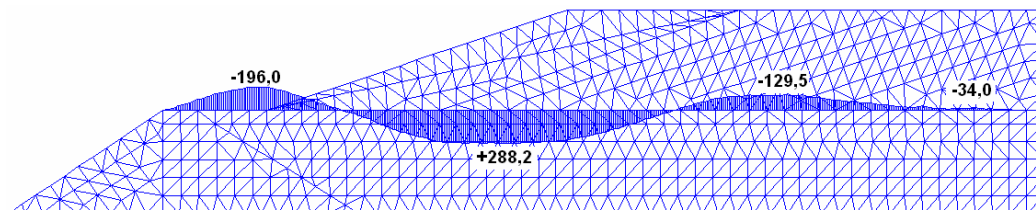
**Рис.14.** Изменения избыточного порового давления по глубине и по главной оси основания во времени под действием нагрузки от дамбы, возведенной до отм. 578 м на расстоянии 180.

Для определения конечных смещений коллекторов, внутренних усилий, т.е. изгибающего момента, поперечной силы и продольной (нормальной) силы вдоль главной оси, использовался метод конечных элементов (МКЭ) по SCAD. В качестве расчетной модели была использована модель плоской задачи теории упругости.

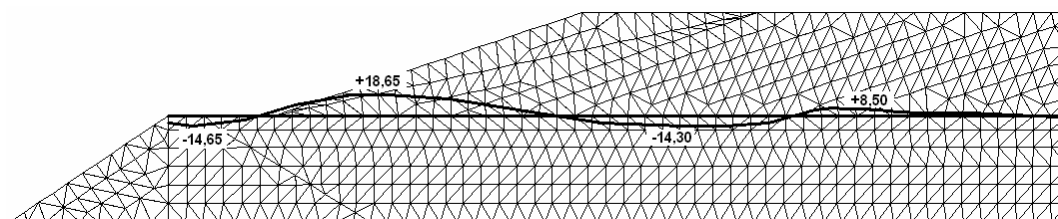
В разработанной конечно-элементной модели были использовано 625 узлов и 1163 элементов при разбиении конечных элементов по шагам 5,0 м. В качестве нагрузки был задан собственный вес грунта (тело дамбы) выше отметки 549,00 и взвешивающие усилия, вызванные подъемом уровня грунтовых вод после наращивания сооружения в основании коллектора. В расчетную область входит та ее часть на которой находится коллектор и передается вертикальное давление от наращиваемой части хвостохранилища. Эпюры

внутренних усилий: изгибающий момент ( $M_y$ ) и поперечная сила ( $Q_z$ ) в коллекторе показаны на рис. 15.

а)



б)



**Рис.15.** Результаты расчетных сочетаний в коллекторе по программе SCAD: а- эпюры изгибающих моментов  $M_y$  (Т\*м); б- эпюры поперечных сил  $Q_z$  (Т)

В целях подбора продольной арматуры в железобетонном кожухе коллектора длиной 255,0 м, расчет приводится в соответствии со СНиП 2.03.01-84\* “Бетонные и железобетонные конструкции” для арматуры класса А-III и бетона класса В-25. Для этой цели использовались вычислительный комплекс SCAD.

После анализа характеристик внутренних усилий и полученных площадей сечения продольной арматуры по элементам можно разделить коллектор на 4 секции для удобства и сокращения время при наборе арматуры. В качестве варианта набора арматуры всех секций сведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Вариант подбора продольной арматуры в коллекторе

№ секции	№ Эл-та по МКЭ	Длина секции, (м)	Максимальные усилия на секции		$A_{S_{max}}$ расч. $cm^2$	$A_s$ фак. $cm^2$	По сортаменту	% армирования
			$M_y$ , Т*м	$Q_y$ , Т				
1	1113-1122	50,0	-196,0	-14,66	88,5	90,45	45 d16 А-III	1,19
2	1123-1142	100,0	288,2	-14,2	131	132,0	42 d20 А-III	1,71
3	1143-1154	60,0	-129,5	8,30	56,6	64,74	42 d14 А-III	0,85
4	1155-1163	45,0	-34,0	3,5	18,7	47,46	42 d12 А-III	0,62



Видно что, все секции коллектора имеют разную арматуру по количеству и по диаметру. Для соединения этих секций необходимо стыковать ее между собой. По расчету нет необходимости определять площади поперечной арматуры, поэтому можно поставить конструктивно d10 А-III по шагом 200 мм.

Таким образом, использование вычислительного комплекса GRUNTUS и SCAD для изучения стабилизированного состояния и напряженно-деформированного состояния (НДС) сооружений и конструкций трубопроводов является необходимым и достаточным. Именно такие линейные сооружения как трубопроводные системы обладают переменными характеристиками (деформация, изгибающие моменты, поперечные и продольные силы, осадки основания) при изменении физико-механических свойств грунтов основания по длине и изменении внешних воздействий. Вышеуказанное является весьма важным для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) и для сохранения их надежности.

**В заключении** сформулированы основные выводы, в которых отражены результаты проведённых исследований.

**В приложении** приведены разработанные автором:

- Величины избыточного порового давления по глубине основания и осадок основания во времени по программе GRUNTUS;
- Расчетные сочетания в коллекторе по программе SCAD;
- Результаты подбора арматуры в коллекторе по программе SACD.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1) Существующие в настоящее время методики расчета подземных линейных сооружений требуют корректировки. Эти методы расчета практически рассматривают только кольцевое сечение на внешнее давление грунта и др. В силу протяженности подземных линейных сооружений, рельефа местности и неоднородности грунтовых условий основания происходят неравномерные осадки вызывающие в сооружениях неравномерные внутренние усилия. Неучёт этих внутренних усилий приводит к неоправданному армированию трубопроводов и пр., что приводит к авариям сооружений и т.д. Весьма важен учет неравномерной деформации по длине сооружения и напряженно-деформированного состояния (НДС) коллекторов, поэтому представляется весьма актуальным разработка методики “Статическая работа трубопроводов, заглубленных в неравномерно деформируемое основание”.

2) Проведенные в диссертационной работе анализы аварии подземных линейных сооружений показали, что в большинстве случаев аварии происходят из за неравномерных деформаций основания, неправильного армирования железобетонных конструкций,

неправильного учета нагрузок на сооружениях. В существующих методиках, расчет ведется только на внешнее давление грунта на выделенное поперечное сечение. Не учитывается взаимодействие между поперечными сечениями. Разработанная нами методика позволяет учитывать продольные, поперечные усилия и изгибающие моменты по длине трубопроводов, коллекторов и пр. и позволяет избежать аварий.

3) В природе существуют разные виды грунтов по их физико-механическим свойствам, минеральным составом и происхождении (например, структурно-неустойчивые грунты, мерзлые и вечномёрзлые грунты, лёссовые грунты, набухающие грунты, слабые водонасыщенные грунты, ленточные глины, торфы и заторфованные грунты, засоленные грунты, насыпные грунты). Они обладают разными характеристиками при действии внешних нагрузок и при разрушении их естественных структур. При этом физический процесс деформирования грунтов является нелинейным процессом, поэтому необходим учет изменения физико-механических характеристик грунтов основания сооружений по длине.

4) В алгоритме расчета коллекторов используется две программы. GRUNTUS для определения деформации основания во времени как в стабилизированном, так и в нестабилизированном состоянии. Для определения внутренних усилий в коллекторах на основании первого этапа (определение деформации основания) используется программа SCAD, которая позволяет определить изгибающие моменты, поперечные и продольные усилия, а также позволяет рассчитать площадь сечения продольной арматуры.

5) На примере коллектора хвостохринилища Учалинского ГОКа был проведен расчет при реальных характеристиках грунта и нагрузок. В результате расчетов получены деформации основания, значения внутренних усилий в коллекторе по его длине и соответственно площади сечений продольной арматуры. В запас прочности коллектора для определения поперечных сечений продольной арматуры были приняты максимальные внутренние усилия в коллекторе. Для удобства стыковки участков коллектора нами было принято деление на 4 секции. Результаты расчетов были использованы при проектировании коллектора Учалинского ГОКа институтом АОЗТ "Механобр инжиниринг".

6) Разработанная методика расчета коллекторов позволяет определить внутренние усилия в коллекторе, их армирование для избежания аварий.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан алгоритм и методика расчета линейных подземных сооружений с учетом неравномерных деформаций и наращивания нагрузок во времени.
2. Применение разработанной методики позволяет определить внутренние усилия в линейных подземных сооружениях и их армирование. Позволяет рекомендовать применение указанной методики при определении НДС при нелинейных физико-механических свойствах грунтов оснований и наращивании нагрузок во времени.

## ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

**1. Чапагайн Бидур П.Ш.** Краткий обзор методов расчета линейных подземных сооружений и их допущения // «XXXIII Неделя науки СПбГТУ, инженерно-строительный факультет» 29 ноября – 4 декабря 2004 г СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2004 г. С. 103-105

**2. Чапагайн Бидур П.Ш.** Изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода, расположенного на различных типах грунтов // «XXXIV Неделя науки СПбГТУ, инженерно-строительный факультет» 29 ноября – 4 декабря 2005 г СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2005 г. С. 85-86

**3. Чапагайн Бидур П.Ш.** Тепловые электростанции (ТЭС) и связанные с ними экологические проблемы при аварии гидротехнических сооружений // Материалы IX Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» 18-19 Мая 2005г СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2005г. С. 219-220

**4. Чапагайн Бидур П.Ш.** Обеспечение экологической безопасности при складировании отходов тепловых электрических станций, использующих твердое топливо //Международные клуб ученых «проблемы экологии Санкт-Петербурга и Ленинградской области» Тезисы докладов региональной конференции (к 160-летию Русского Географического Общества), 30-31 Мая 2005, С. 77-78

**5. Chapagain Bidur P.S.** The reasons of pipeline transport destruction and the some approaches for maintenance of its serviceability. The 6<sup>th</sup> international youth environmental forum ECOBALTICA 2006г « Proceeding book, 27-29 June 2006, Saint-Petersburg» 2006г, P. 174-175

**6. Чапагайн Бидур П.Ш.** Расчеты подземных линейных сооружений для обеспечения их надежности // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2006. №-5. С.125-128.