

На правах рукописи



ТАРЖИМАНОВ Марат Альбертович

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА
ГИБКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
КОТЛОВАНОВ С НЕОДНОРОДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону
2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет»

Научные руководители – доктор технических наук, профессор
Маилян Дмитрий Рафаэлович
кандидат технических наук, доцент
Логутин Валерий Васильевич

Официальные оппоненты – проректор по научной работе Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
доктор технических наук, профессор
Борисов Юрий Михайлович
заведующий кафедрой «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» ЮРГТУ (НПИ)
доктор технических наук, профессор
Скибин Геннадий Михайлович

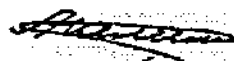
Ведущая организация – ООО «СевКавНИПИагропром»

Защита состоится «17» мая 2012г. в 10 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.207.02 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» по адресу: 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, корпус 1, ауд.232
т/ф (863)2635310, e-mail: dis_sovet_rgsu@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ростовского государственного строительного университета.

Автореферат разослан «16» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Налимова А.В.

2012 А

1334/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Увеличение масштабов строительства, связанного с освоением территорий со сложным рельефом, освоение подземного пространства в условиях плотной городской застройки, использование упрощенных моделей грунта и расчетов, не в полной мере учитывающих особенности взаимодействия элементов системы «сооружение - грунтовый массив» при устройстве глубоких выемок, вызывают необходимость разработки новых и усовершенствования существующих приемов и методов расчета различного рода ограждающих конструкций котлованов (подпорных сооружений), воспринимающих горизонтальные нагрузки от грунтовых масс.

Цель диссертационной работы – совершенствование методов расчета ограждающих конструкций котлованов, взаимодействующих с грунтовым массивом, с учетом изменения свойств бетона при предварительном напряжении и повторных динамических нагружениях.

Задачи исследования:

- проанализировать современное состояние нормативно-технической базы для расчета ограждающих конструкций котлованов;
- определить зависимость эффекта воздействия ограждающих конструкций от регулируемых параметров расчета;
- оценить степень влияния на НДС системы основных варьируемых параметров при численном моделировании взаимодействия ограждающих конструкций с грунтовыми массивами;
- разработать методику определения внутренних усилий и перемещений ограждающих конструкций конечной жесткости с учетом прочностных и деформационных характеристик грунтов основания;
- выполнить сравнение результатов, полученных на основе разработанной методики расчета с результатами натуральных наблюдений;
- получить экспериментальные данные о работе бетона, подвергнутого длительному предварительному обжатию при импульсном повторном динамическом нагружении;
- установить регрессионные зависимости коэффициентов динамического воздействия на свойства бетонных элементов от уровня предварительного обжатия и количества циклов импульсного нагружения.

Научная новизна работы:

- обосновано применение нелинейной упругопластической модели грунта для расчета взаимодействия ограждающих конструкций и массива грунта;



- разработана методика определения бокового давления грунта, внутренних усилий и перемещений подпорных сооружений конечной жесткости с использованием прочностных и деформационных характеристик грунтов основания с учетом взаимовлияния подпорного сооружения и грунтового массива;

- на основе серии численных экспериментов получены зависимости усилий в подпорном сооружении от деформаций системы «конструкция – грунтовый массив»;

- разработан алгоритм расчета безанкерных ограждающих конструкций, реализованный с использованием аппарата МКЭ в программном комплексе Sconstr;

- впервые получены экспериментальные данные о сопротивлении предварительно обжато́го бетона последующим повторным импульсным воздействиям;

- получены регрессионные зависимости соотношений коэффициентов динамичности предварительно обжато́го бетона к аналогичным коэффициентам для элементов, не подвергнутых предварительным напряжениям, в зависимости от уровня предварительного обжата́, количества циклов интенсивных динамических нагружений.

Достоверность полученных результатов подтверждается статистической обработкой опытных данных автора и сравнением результатов работы натуральных ограждающих конструкций котлованов с полученными при проектировании ряда инженерных сооружений.

Практическое значение работы:

- разработана расчетная модель нагрузок и воздействий, используемая при проектировании ограждений котлованов;

- разработана методика определения перемещений и внутренних усилий ограждающих конструкций котлованов конечной жесткости с учетом взаимодействия с деформируемым грунтовым основанием;

- разработан алгоритм расчета безанкерных ограждающих конструкций;

- разработан программный комплекс Sconstr, позволяющий получать эффективные проектные решения ограждающих конструкций котлованов. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010616370 от 24.09.2010г.;

- предложена методика учета влияния повторных динамических воздействий на изменение свойств предварительно обжато́го бетона.

Разработанная методика расчета внедрена в практику проектирования ограждающих конструкций котлованов следующих объектов: общественно-

спортивный комплекс с многоуровневой автостоянкой по ул. Текучева в квартале «Миллениум» в г. Ростове-на-Дону; 3-секционный каркасный жилой дом разной этажности со встроенными общественными помещениями с многоуровневой подземной встроенно-пристроенной автостоянкой ГК "Сиверса" (4-я очередь) 13-а, 15-а в г. Ростове-на-Дону; 7-этажный жилой дом по ул. Донской, 8/12 в г. Ростове-на-Дону; офисное здание со встроенной автостоянкой по пр. Буденновскому / ул. Береговой в г. Ростове-на-Дону.

Наблюдения за возведенными конструкциями показали их достаточную эксплуатационную надежность, а использование разработанных проектных решений удерживающих сооружений при строительстве позволило получить общий экономический эффект в размере 24,7 млн. руб.

Апробация работы:

Основные положения диссертации докладывали и обсуждали: на Международной научно-практической конференции «Строительство» (Ростов-на-Дону, 2001–2012); на ежегодных научных семинарах РГСУ 1999–2012 гг.; на годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 21-22 марта 2002); на Российской науч.-практ. конф., посвященной памяти профессоров Ю.Н. Мурзенко и А.П. Пшеничкина, 14-15 июля 2010г., г. Новочеркасск; на V международной конференции по геотехнике 22-24 сентября 2010г., Волгоград.

На защиту выносятся:

- результаты оценки влияния деформационных характеристик грунтового массива на усилия, возникающие в ограждающих конструкциях котлованов;
- методика учета деформационных характеристик системы «основание-сооружение» при определении бокового давления грунта на ограждения котлованов;
- расчетная схема сбора нагрузок при расчете ограждающих конструкций котлованов;
- результаты оценки степени влияния прочностных характеристик грунта при воздействии на ограждающие конструкции при упругопластическом деформировании связных грунтов;
- методика инженерного расчета ограждающих конструкций котлованов с учетом упругопластического деформирования грунта;
- экспериментальные данные сопротивления предварительно обжатого бетона последующим импульсным воздействиям;
- регрессионные зависимости коэффициентов динамичности предварительно обжатого бетона от уровня обжатия и количества циклов динамических воздействий.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 16 статей, из них 3 – в рецензируемых ВАК изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений.

Работа изложена на 142 страницах, содержит 33 таблицы, 53 рисунка, библиографический список из 117 наименований.

Автор выражает благодарность д-ру техн. наук, проф. Л.Н. Панасюку за консультации и советы, использованные в работе.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе производится обзор и анализ существующих методов определения бокового давления грунтов, усилий и перемещений подпорных сооружений.

Проанализированы многочисленные труды А.Н. Богомолова, К.Ш. Шадунца, З.Г. Тер-Мартirosяна, В.А. Ильичева, В.Г. Федоровского, Б.И. Дидука, В.А. Иоселевича, В.Н. Ренгача, С.Б. Ухова, А.Б. Фадеева, Г.П. Чеботарева, В.В. Соколовского, М.В. Мальцева, Н.Н. Маслова, Ю.К. Зарецкого, Н.С. Булычева, С.М. Алейникова, В.К. Цветкова, В.М. Улицкого, В.В. Знаменского, Н.А. Цытовича, Г.К. Клейна, К. Терцаги и др.

Согласно рекомендациям современных нормативных документов, в частности действующих Европейских норм проектирования (Еврокод 7) и СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», давление грунта на ограждения котлованов следует определять в зависимости от величин перемещений и деформаций, реализуемых в результате совместной работы конструкций с грунтовым массивом, различая три расчетных модели:

- на основании теории предельного напряженного состояния;
- при напряженном состоянии в покое;
- с применением численных методов расчета либо с использованием эмпирических зависимостей.

Показано, что применимость существующих методов в практических расчетах сопряжена с рядом сложностей:

1. Регламентируется «неопределенный» параметр «перемещение конструкции» – даже при значительных перемещениях верха конструкции возможно наличие областей допредельного состояния. Таким образом, затруднительным представляется использование рекомендуемых положений как четкого критерия при выборе расчетной схемы.

2. Назначение критерием применения той или иной расчетной схемы параметра «перемещение конструкции» влечет за собой необходимость

предварительного определения значения данной величины – то есть применения какой-либо расчетной схемы. При этом результаты могут быть неоднозначными.

3. Более совершенным аппаратом для решения задач определения усилий и перемещений элементов сооружения можно считать численные решения в предположении работы ограждающей конструкции в виде балки на упругом основании. Однако значительная погрешность при использовании данной методики во многом определена необходимостью применения так называемого коэффициента постели при определении бокового давления грунта.

Результаты проведенного анализа позволили сформулировать цель диссертационной работы, а именно, необходимость разработки метода расчета подпорных сооружений конечной жесткости с учетом прочностных и деформационных характеристик связных грунтов основания и изменения свойств бетона при предварительном нагружении и повторных динамических воздействиях.

Во второй главе приведены результаты серии экспериментов по моделированию с использованием МКЭ задачи взаимодействия элементов системы «конструкция – грунтовый массив» в упругопластической постановке. Основная цель экспериментов – разработка и выявление возможности применения расчетных схем, позволяющих более достоверно решать задачи определения перемещений и усилий в ограждающих конструкциях во взаимовлиянии с грунтовыми массивами.

Численное моделирование производилось с использованием специализированного программного комплекса Plaxis, как одного из общепризнанно наиболее удобных и приспособленных к решению геотехнических задач программных комплексов.

На начальном этапе были установлены размеры расчетной области, исходя из опыта проектирования и предварительных численных экспериментов. Левая, правая и нижняя границы расчетной области закреплены соответственно от горизонтальных и вертикальных перемещений. Разбиение на конечные элементы проводилось автоматически, со сгущением сетки конечных элементов в области контакта грунтового массива и ограждающей конструкции.

Грунт моделировался упругопластическим телом, имеющим характеристики E , ν , c , ϕ , γ , значения которых должны быть получены в результате проводимых на площадке строительства инженерно-геологических изысканий. Критерием образования области предельного состояния принято условие прочности Кулона-Мора. Подпорное сооружение принималось в виде

плоскостного балочного элемента конечной жесткости (задавалась изгибная и осевая жесткости EI и EA).

При моделировании задачи взаимодействия ограждающей конструкции котлована с грунтовым основанием была определена степень влияния варьируемых параметров на результаты расчетов – возникающие в ограждающих конструкциях усилия M и Q, а также перемещения крепи котлована в уровне его бровки. Кроме того, исследована закономерность образования области предельного состояния в грунтовом массиве за подпорным сооружением.

Варьируемыми параметрами были:

- гибкость и высота ограждающей конструкции;
- сцепление и угол внутреннего трения грунтового массива, оказывающего давление на подпорное сооружение;
- модуль деформации и коэффициент относительного поперечного расширения грунтового массива, оказывающего давление на подпорное сооружение;
- модуль деформации и коэффициент относительного поперечного расширения грунтового массива, в котором заземлено подпорное сооружение;

Применение Plaxis позволило выявить основные закономерности взаимовлияющей системы «грунтовое основание-ограждение котлована».

С использованием программного комплекса Plaxis стало возможным:

- получение картины распределения горизонтальных перемещений грунтового массива во взаимодействии с ограждающей конструкцией;
- исследование распределения горизонтальных, вертикальных и касательных напряжений в грунтовом массиве;
- оценка степени влияния деформационных характеристик системы «основание-сооружение»;
- исследование влияния прочностных и деформационных характеристик системы на развитие областей предельного состояния в грунтовом массиве;
- выявление закономерности образования области предельного состояния в грунтовом массиве как функции деформации ограждающей конструкции.

Показано, что область предельного состояния, в отличие от предпосылок теории жесткопластического деформирования грунтового массива при определении бокового давления, может носить как локальный характер по высоте ограждающей конструкции, так и практически полностью отсутствовать. При этом четким критерием образования и области распространения зоны предельного состояния может являться деформация ограждающей конструкции.

Влияние гибкости подпорного сооружения на развитие областей предельного состояния исследовано с использованием процедуры визуального отображения конечных элементов, в которых по результатам расчета произошла потеря прочности. На рис. 1 проиллюстрировано развитие областей предельного состояния для 5м котлована при различной приведенной толщине строительной конструкции.

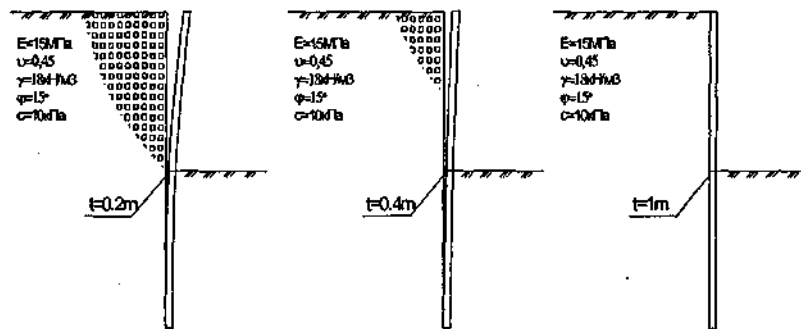


Рис.1. Область предельного состояния при различной гибкости ограждающей конструкции

Исследование НДС элементов системы «основание-сооружение» показало ярко выраженный поступательный характер деформаций ограждающего сооружения – перемещение низа конструкции составляют в среднем от 15 до 30% от его перемещений в уровне бровки котлована (рис.2).

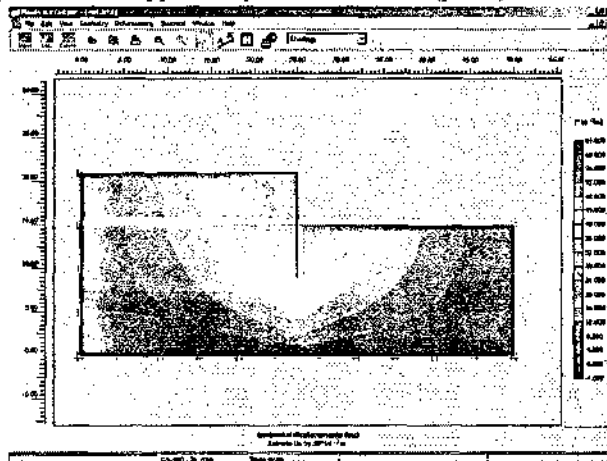


Рис.2. Изополя горизонтальных перемещений системы «основание-сооружение»

Выявлена степень влияния на величину возникающих в сооружении усилий M и Q модуля деформации грунтового массива, оказывающего боковое давление (до 15% при изменении значения модуля деформации от 5 до 30 МПа).

Был проведен ряд численных экспериментов, в результате которых определены максимальные значения усилий в ограждающей конструкции в зависимости от жесткости подстилающего грунта. Результаты данных расчетов отражены в табл. 1, в которой представлены значения усилий M и Q в сооружении при различных значениях модуля деформации грунта, в который оно заделывается.

Таблица 1

Усилия M и Q при различных значениях модуля деформации подстилающего грунта и толщины ограждающей конструкции

$E_{гр}$	при $t_{щг}=0.2м$		при $t_{щг}=0.5м$		при $t_{щг}=1м$	
	Q	M	Q	M	Q	M
10	19.6	12.9	21.6	13.2	21.8	18.1
15	20	13	24.2	16.4	24.5	15.8
20	22.7	13.5	32.4	18.9	34.3	21.3
25	25.8	14.5	39.9	26	43.3	30.6
30	28.7	14.2	45.42	31.85	50.4	39.2

Как видно из табл. 1, при моделировании задачи взаимодействия грунтового массива с ограждающей конструкцией котлована с использованием программного комплекса Plaxis, выявлено незначительное влияние модуля деформации подстилающего основания при использовании упругопластической модели деформирования грунта.

На основе полученных решений произведен анализ влияния различных факторов на конечный результат для применения в инженерных расчетах.

Результаты численных экспериментов позволили выявить влияние геометрических, прочностных и деформационных характеристик системы на образование и степень развития областей предельного напряженного состояния:

1. Сопоставляя полученные данные – НДС ограждающей конструкции и развитие области предельного состояния по высоте котлована, сделан вывод о необходимости выделения в грунтовом массиве областей предельного и допредельного состояний и соответствующего раздельного определения горизонтальных напряжений.
2. Наличие и размер области предельного состояния в грунтовом массиве, оказывающем давление на ограждающую конструкцию, существенно зависят

как от прочностных и деформативных характеристик грунта, так и от жесткости подпорного сооружения.

3. Показано, что расчетным критерием предельного состояния грунтового массива, оказывающего боковое давление на ограждающую конструкцию, можно считать перемещение ее элементов.
4. Отмечено существование некоторой области грунта в верхней части ограждения, не оказывающей бокового давления.

В третьей главе по результатам качественного и количественного анализов влияния регулируемых параметров, выявленных в главе II, произведена систематизация полученных данных. Выявлено нехарактерное, в сравнении с реальными наблюдениями и данными научно-технических публикаций, поступательное перемещение ограждающей конструкции при использовании в программном комплексе Plaxis упругопластической модели деформирования грунта. Кроме того, обнаружена нефизичность результатов расчета при моделировании жесткости грунта основания, в котором зашцемяно сооружение, модулем деформации с использованием в программном комплексе Plaxis упругопластической модели деформирования грунта.

В совокупности с анализом существующих методов, приведенных в I главе, показана необходимость совершенствования методики расчета ограждающих конструкций котлована в предположении упругопластического деформирования грунтового массива с необходимым выделением областей предельного и допредельного напряженного состояния.

Таким образом, в соответствии с результатами, полученными во II главе, а также рекомендациями Еврокод 7 и СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», определение горизонтальных напряжений в грунтовом массиве, оказывающем боковое давление, необходимо производить с учетом специфики напряженного состояния в области грунта, примыкающего к подпорному сооружению. Зная условное распределение по высоте шпунта области допредельного и предельного состояния в грунте, можно вычислить горизонтальное давление с учетом состояния грунта во взаимовлиянии с деформациями конструкции.

Решение задачи определения давления на подпорное сооружение с учетом вышеуказанного фактора представляется в следующем виде. Рассмотрим взаимовлияющую систему «конструкция - грунтовое основание». Результаты, полученные в предыдущих главах, позволили считать грунтовый массив условно трехслойным основанием (рис.3).

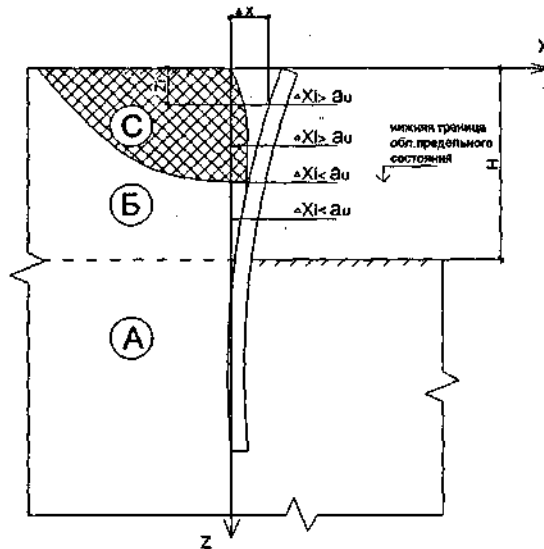


Рис. 3. Расчетная схема грунтового основания

Область А – область грунта, обеспечивающая равновесное состояние системы за счет отпора грунта. Расчетная модель сопротивления грунтового основания принята с использованием модели местных упругих деформаций (модель Винклера).

Область Б – массив грунта в допредельном состоянии, характеризующаяся E и ν и оказывающая боковое давление, которое определяют в соответствии с зависимостями, описываемыми теорией упругости, в частности исходя из величины горизонтальных напряжений, получаемых по формуле

$$\sigma_x = E \epsilon_x / (1 - \nu^2) + \xi \sigma_z, \quad (1)$$

где $\xi = \nu / (1 - \nu)$ – боковое давление покоя.

Деформации грунта ограничены перемещениями сооружения, поэтому $\epsilon_x = \Delta x / L$. Согласно серии численных экспериментов, а так же рекомендациям, изложенным в научно-технической литературе, размер деформируемого массива принят равным $2H$ как для безанкерных сооружений.

Область С – массив грунта в предельном состоянии. Причем в области С возможно отсутствие взаимного контакта. Давление на подпорное сооружение определяется в соответствии с зависимостями, описываемыми теорией предельного напряженного состояния, в частности исходя из величины горизонтальных напряжений, получаемых по формуле

$$\sigma_x = \lambda_s \sigma_z, \quad (2)$$

где λ_a — коэффициент активного давления грунта, определяемый согласно рекомендациям нормативно-технической литературы.

Ограждающая конструкция моделируется как балка в условиях плоской деформации, защемленная в упругом основании, характеризуемом коэффициентом постели.

Критерием такого условного разделения массива по высоте шпунта является непревышение горизонтальными перемещениями точек грунта на контакте со шпунтом некоторой величины a_u , являющейся сложной функцией характеристик исследуемой системы. Рассматривая изменение соотношения вертикальных и горизонтальных напряжений в зависимости от перемещений ограждения котлована, получено выражение для нахождения параметра a_u :

$$a_u = \frac{\sigma_z (\operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) - \xi) + T}{K}, \quad (3)$$

$$\text{где } K = \frac{E}{(1-\nu^2) \cdot L}; \quad (4)$$

$$T = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2) - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi. \quad (5)$$

Горизонтальные перемещения грунта ограничиваются перемещениями подпорного сооружения и зависят от его жесткости. Учет взаимного влияния элементов системы производится следующим образом. На начальном этапе принимается, что горизонтальные перемещения грунта и ограждающей конструкции, а также области предельного состояния, отсутствуют. Для определения НДС системы с учетом механизма развития бокового давления использован метод последовательных приближений. В зависимости от требуемой степени точности расчетов, назначается количество ступеней (шагов n) нагружения. Постулируется, что давление области грунта в допредельном состоянии не прикладывается одновременно, а постепенно развивается до какого-то установившегося (равновесного) состояния. Область грунта, перешедшая в предельное состояние, оказывает неизменное (активное) давление на подпорное сооружение.

На начальном этапе определяются σ_x , M_x и Q_x исходя из реализации давления покоя на первом шаге нагружения, равного $(1/n)\sigma_x$. После определения перемещений на первом шаге и выявления зоны развития предельного и допредельного состояния, производится корректировка величины бокового давления по высоте сооружения. Определение давления грунта в области допредельного состояния определяется с учетом полученных перемещений и шага нагружения. Процедура выполняется до последнего шага нагружения, на котором окончательно определяется полное давление на

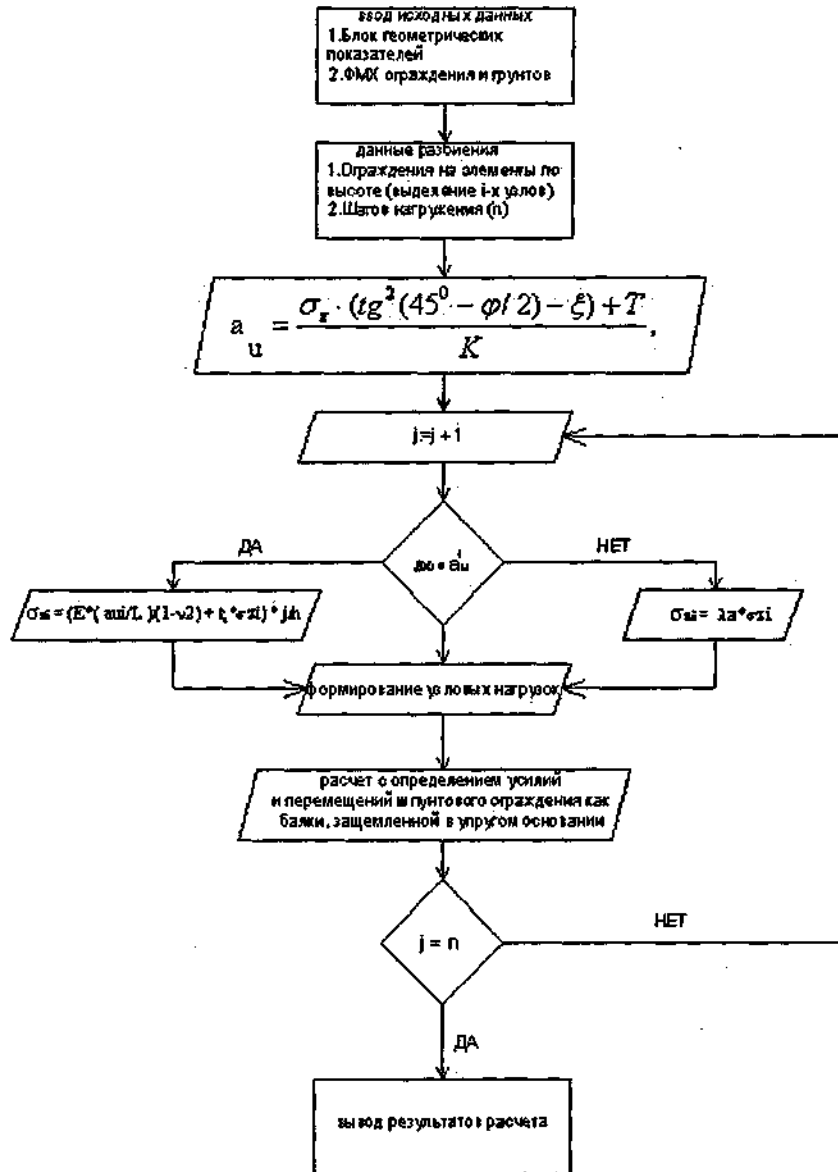


Рис.4. Блок-схема к алгоритму расчета, реализованному в программном комплексе Sconstr.

подпорное сооружение с учетом области развития предельного и допредельного состояния с учетом перемещений сооружения.

Для сокращения трудоемкости расчетов разработан программный комплекс Sconstr, в основу которого заложена методика определения бокового давления, разработанная автором. Блок-схема алгоритма, реализованного в разработанном программном комплексе, приведена на рис.4.

Достоверность величины и характера усилий и перемещений ограждающих конструкций котлованов, полученных с использованием Sconstr, подтверждается серией проведенных численных экспериментов в сравнении с результатами решений, полученных с использованием специализированных программных комплексов, реализующих конечно-элементное моделирование системы «сооружение - грунтовое основание».

В качестве примера, иллюстрирующего взаимодействие подпорного сооружения с просадочными грунтами и для отображения влияния модуля деформации на усилия «М», возникающие в конструкции, решалась задача при варьировании модулем деформации при следующих исходных данных. Глубина котлована 5м, ограждающая конструкция приведенной толщины 0,3м, $c=15\text{кПа}$, $\varphi=15^\circ$, $\nu=0,3$. Решения, полученные с использованием Sconstr и Plaxis, в отличие от классических методов расчета, отражают закономерное уменьшение усилий «М» с увеличением модуля деформации. При изменении значения E от 5 до 30 МПа усилия «М» снижаются в среднем соответственно на 50% и 80%. При этом, значения внутренних усилий, получаемые с применением программного комплекса Sconstr обладают несколько большим запасом надежности.

Таким образом, сделан вывод о применимости реализованной в разработанном автором программном комплексе методики расчета ограждающих конструкций котлована, и физичности получаемых на ее основе результатов расчета.

В четвертой главе рассмотрены вопросы учета влияния предварительных напряжений на механические характеристики бетона при повторном динамическом нагружении. Главным показателем изменения свойств бетона при импульсном динамическом нагружении до разрушения является коэффициент динамического упрочнения K_d , представляющий собой отношение прочности бетона при динамическом нагружении R_{bd} к его статической прочности R_b .

Значения этого коэффициента для бетона, не подвергнутого предварительному нагружению, как правило, принимают равными 1,1...1,2.

Но в предварительно напряженных конструкциях, в том числе ограждающих конструкциях котлованов, динамическому нагружению подвергается бетон с уже изменившимися в результате предварительного сжатия свойствами, что может сказаться на значении коэффициента динамического упрочнения.

Коэффициент динамического упрочнения предварительно обжатого бетона обозначим $K_d^p = R_{bd}^p/R_b^p$, где R_{bd}^p – динамическая прочность предварительно обжатого бетона, а R_b^p – статическая прочность такого же бетона.

Обозначим через α_{rb}^p отношение коэффициентов динамического упрочнения предварительно нагруженного K_d^p и необжатого бетона K_d , т.е.

$$\alpha_{rb}^p = K_d^p/K_d = R_{bd}^p / K_d \gamma_{rb} R_b^p, \quad (6)$$

где $\gamma_{rb} = R_b^p/R_b$ – коэффициент условия работы, учитывающий влияние преднапряжения на свойства бетона при статическом нагружении.

В этом случае приземная прочность, предельная деформативность и модуль упругости предварительно напряженного бетона при импульсном воздействии равны:

$$R_{bd}^p = R_b K_d \alpha_{rb}^p \gamma_{rb} ; \quad \epsilon_{brd}^p = \epsilon_{br} K_{de} \alpha_{rb}^p \gamma_{rb} ; \quad E_{bd}^p = E_b K_{de} \alpha_{rb}^p \gamma_{rb} .$$

Таким образом, для определения динамической прочности и полной диаграммы деформирования бетона, подвергнутого предварительному обжатию, необходимо определить опытным путем значения указанных коэффициентов.

Была поставлена задача при проведении экспериментов сперва определить степень изменения параметров диаграмм " $\sigma_b - \epsilon_b$ " бетона, не подвергнутого предварительному нагружению, при динамических воздействиях (коэффициенты K_d , K_{de} , K_{deB}). Затем, используя полученные данные, необходимо было определить степень изменения диаграмм " $\sigma_b - \epsilon_b$ " предварительно нагруженного бетона при динамических повторных воздействиях (коэффициенты α_{rb}^p , α_{rb}^p , α_{rb}^p).

Объектом испытания были выбраны бетонные призмы размерами 100x100x400 мм.

Опытные образцы изготавливались из тяжелого бетона проектной прочностью 25 МПа.

Испытания бетонных образцов на динамические импульсные повторные нагрузки производились на модернизированной нами установке, разработанной в РГСУ.

Перед испытанием на всех боковых гранях призм наклеивались тензодатчики для измерения продольных и поперечных деформаций с помощью осциллографа. На верхних и нижнем торцах призм устанавливались динамометры. Время испытания составляло 0,03...0,05 сек.

Опыты показали, что коэффициент динамичности для обычных (не подвергнутых предварительному обжатию и растяжению) призм составил 1,3. Эти данные при принятой в опытах скорости нагружения соответствуют зависимости « K_d - σ », предложенной Ю.М. Баженовым.

При предварительном обжатии призм отношение $\alpha_{Rb}^p = K_d^p / K_d$ в зависимости от начального уровня обжатия η_r и относительной прочности бетона к началу предварительного обжатия $\beta = R_r / R_{28}$ возрастает в 1...1,12 раз.

С увеличением уровня обжатия η_r и увеличением циклов динамических воздействий отношение α_{Rb} повышается.

Предельные деформации, соответствующие максимальным напряжениям при динамическом нагружении, оказались в среднем на 10% ниже, а модули упругости на 15...20% выше, чем при статическом, т.е. $K_{db} = \epsilon_{bd} / \epsilon_b \approx 0,9$, а $K_{Eb} = E_{bd} / E_b = 1,15...1,20$.

Отношение предельной сжимаемости и модулей упругости бетона при динамическом нагружении к аналогичным характеристикам при статическом в предварительно обжатом бетоне ($\alpha_{\epsilon b}^p, \alpha_{E b}^p$) выше, чем в необжатом в зависимости от указанных факторов в 1...1,11 и 1...1,15 раз.

При математическом планировании экспериментов в качестве основных варьируемых факторов выбраны начальный уровень предварительного обжатия $\eta_r = \sigma_{b(r)} / R_{b(r)} = 0,25; 0,35; 0,55$; количество циклов динамического импульсного нагружения $n = 25, 15, 5$.

В общем виде искомые зависимости при трехуровневых и двухфакторных планах имеют вид:

$$y_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (7)$$

На основании выполненных нами экспериментов были получены опытные значения коэффициентов, отражающих влияние предварительного обжатия на механические свойства бетона при импульсных воздействиях. По этим данным по известным формулам математической статистики были вычислены свободные члены и коэффициенты уравнения (5), приведенные в табл. 2.

В качестве функций y_i уравнения (5) приняты параметры

$$y_1 = \alpha_{Rb}^p; y_2 = \alpha_{Eb}^p; y_3 = \alpha_{\epsilon b}^p \quad (8)$$

а аргументы $x_1 = \bar{\eta}_{b(r)} = (\bar{\eta}_{b(r)} - 0,35)/0,2$; $x_2 = \bar{n} = (n-15)/5$

Сопоставление опытных и теоретических значений параметров α_{Rb}^p , α_{Eb}^p , α_{zb}^p (рис. 5 и 6) показало их близкую сходимость.

Проверка адекватности предложенных зависимостей показала их пригодность для оценки изменения параметров диаграммы деформирования предварительно нагруженного бетона при импульсных воздействиях. Так, расчетное значение критерия Фишера (0,01...0,09) оказалось значительно меньше теоретического, а коэффициенты множественной корреляции были весьма высоки (0,97...0,99).

Таблица 2

Коэффициенты уравнения (7) для определения степени изменения свойств предварительно нагруженного бетона при импульсных динамических повторных воздействиях

Показатель свойств бетона	Значения коэффициентов к регрессионным уравнениям					
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
α_{Rb}^p	1,0599	0,0283	-0,0333	0,0008	-0,004	-0,0025
α_{zb}^p	1,0499	0,0333	-0,0233	-0,0042	0,0058	-0,0025
α_{Eb}^p	1,1083	0,0267	0,0333	-0,0553	-0,0053	0

Анализ полученных данных показывает, что повышение уровня предварительного обжатия бетона до определенного предела ведет к повышению коэффициента динамического упрочнения бетона (до 13%) в сравнении с аналогичным коэффициентом для необжатого бетона.

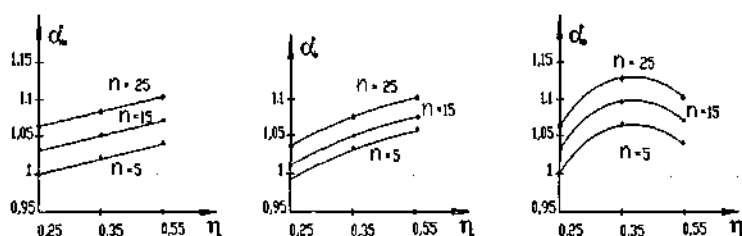


Рис. 5. Влияние уровня предварительного сжатия бетона на изменение параметров диаграмм " $\sigma_b - \epsilon_b$ " при повторном импульсном нагружении

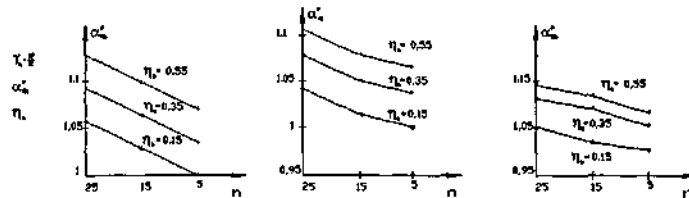


Рис. 6. Влияние количества динамических импульсных воздействий на изменение параметров диаграмм « $\sigma_b - \epsilon_b$ » при повторном импульсном нагружении

С увеличением количества циклов динамического импульсного нагружения влияние последнего на коэффициент динамического упрочнения повышается.

В пятой главе производится анализ разработанной методики расчета в сравнении с результатами численного моделирования с использованием программного комплекса Plaxis и классической теории расчета в предположении о реализации активного давления. Основными параметрами для расчета были:

- характеристики грунтового основания осредненные для условий Ростовской области – $E=25\text{МПа}$, $c=19\text{кПа}$, $\varphi=20^\circ$, $\nu=0,35$;
- глубина котлована – 6м;
- ограждающая конструкция приведенной толщиной 300мм из бетона класса В15 ($E_A=0,69 \text{ е } 7 \text{ кН/м}$, $EI=51750 \text{ кНм}^2/\text{м}$).

Производился расчет ограждающей конструкции с определением усилий M и перемещений верха конструкции по трем методикам расчета. Обобщая результаты расчетов, были сделаны следующие выводы:

- усилия и перемещения, полученные с использованием классической теории расчета, не зависят от деформационных характеристик грунта, оказывающего давление на сооружение;
- давление на подпорное сооружение не зависит от жесткости сооружения при использовании классической теории расчета;
- максимальные значения усилий « M » в ограждающих конструкциях, получаемые с использованием программного комплекса Sconstr больше в среднем на 35-40% чем аналогичные, полученные с использованием Plaxis. Основной причиной следует считать большую податливость основания, моделируемого с применением упругопластической модели грунта;

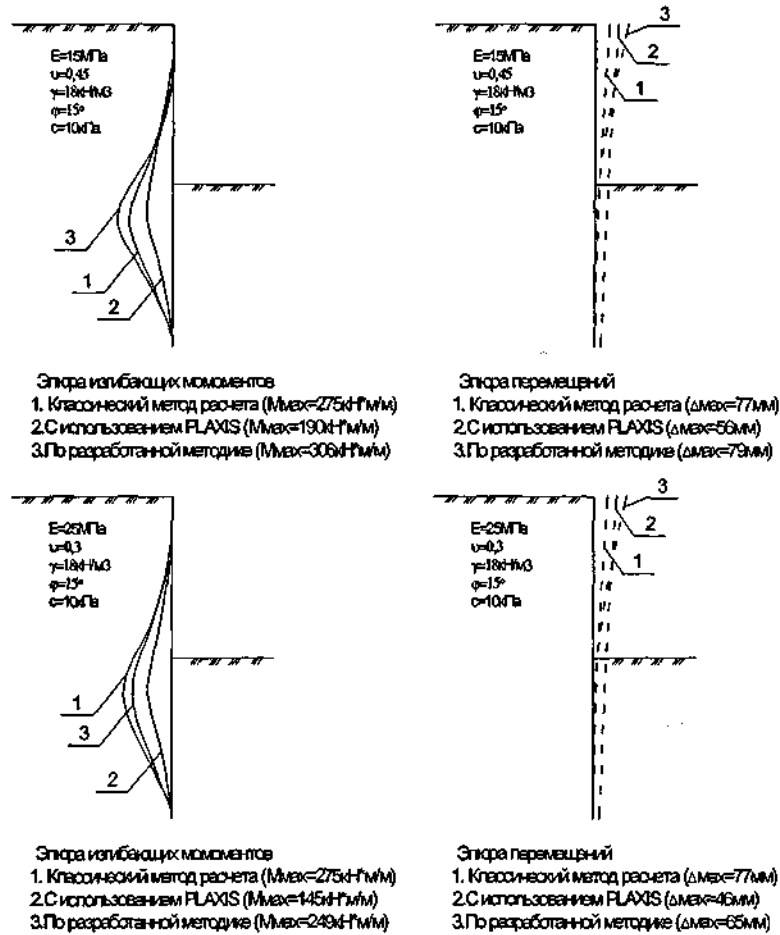


Рис.7. Сравнение результатов расчета ограждающей конструкции котлована

- максимальные значения перемещения верха ограждающей конструкции, полученные с использованием программного комплекса Sconstr больше в среднем на 30% чем аналогичные, полученные с использованием Plaxis;
- по сравнению с результатами, полученными на основе теории предельного напряженного состояния, применение программного комплекса Sconstr позволяет получать близкие к достоверным решения с учетом деформационных характеристик системы;
- характер перемещений, получаемый согласно программного комплекса Plaxis носит ярко выраженный поступательный характер, в отличие от

результатов, получаемых с использованием классической теории, расчетного комплекса Sconstr и результатов натуральных наблюдений (рис.7).

Правомочность разработанной методики расчета также определялась сравнением экспериментальных наблюдений с данными численного моделирования и апробация разработанной методики инженерного расчета в ходе проектирования ряда инженерных сооружений. В частности, в соответствии с заключенным с МКП г.Ростова-на-Дону «Объединенная дирекция строящихся объектов г. Ростова-на-Дону» договором, были проведены расчеты ограждающих конструкций, возводимых с целью недопущения обрушения стенок котлована переменной глубины на время строительства многоэтажного дома.

Определение основных параметров УС – шага, диаметра, армирования и количества рядов свай, были приняты на основании анализа расчета свай на горизонтальное давление, изложенной в технической и нормативной литературе и согласно разработанной методике расчета.

Возведенные конструкции показали полную функциональную пригодность, а сравнение реальных перемещений УС с расчетными величинами позволило констатировать качественную и количественную сходимость результатов расчета с натурными наблюдениями.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основании результатов численных экспериментов, выполненных с использованием программного комплекса Plaxis, определена степень влияния на НДС регулируемых параметров системы «конструкция-грунтовое основание». Повышение модуля деформации с 5 до 30 МПа приводит к изменению изгибающего момента в сооружении в 1.55 раза для котлована глубиной 5м.

2. Изучено развитие зон предельного и допредельного состояния грунта, оказывающего давление на ограждающие конструкции котлована. Показана необходимость и возможность их учета для определения бокового давления

3. Разработаны методика и алгоритм расчета подпорных сооружений с учетом прочностных и деформационных характеристик взаимовлияющей системы «основание-сооружение» и моделирования механизма образования бокового давления грунта.

4. Разработан и запатентован программный комплекс Sconstr, реализующий предлагаемую методику расчета удерживающих сооружений котлована, который позволяет определять давление на крепь котлована с учетом деформационных и прочностных характеристик системы «основание-

сооружение», а также внутренние усилия в элементах удерживающей конструкции.

5. Проведен анализ результатов расчета ограждающих конструкций котлована, полученных с применением разработанного программного комплекса Sconstr. Сравнение реальных перемещений сооружения с расчетными величинами позволило констатировать качественную и количественную сходимость результатов расчета с натурными наблюдениями. Точность получаемых результатов расчета подтверждена также при решении серии тестовых задач.

6. Получены новые экспериментальные данные о сопротивлении предварительно обжатого бетона последующим импульсным повторным динамическим воздействием. Опыты показали, что коэффициент динамичности при предварительном обжатии бетона в зависимости от начального уровня обжатия η_t и количества циклов нагружения возрастает до 1...1,12 раз по сравнению с необжатым бетоном.

7. Отношения предельной сжимаемости и модулей упругости бетона при динамическом нагружении к таким же характеристикам при статическом в предварительно обжатом бетоне ($\alpha_{\text{ЕБ}}^p$ и $\alpha_{\text{Б}}^p$) выше, чем в необжатом в зависимости от указанных факторов в 1...1,11 и 1...1,15 раз.

8. Предложены регрессионные выражения отношений коэффициентов динамичности предварительно обжатых бетонных элементов, к аналогичным коэффициентам для элементов, не подвергнутых предварительным напряжениям, в зависимости от уровня предварительных напряжений η_t и циклов динамического импульсного нагружения.

9. Применение предлагаемой методики расчета ограждающих конструкций котлована позволяет получать надежные и экономичные проектные решения. Внедрение разработанных предложений в практику строительства позволило сократить общую стоимость ограждающих конструкций на 22% и получить существенный экономический эффект.

Основные результаты диссертации опубликованы:

- в трех изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Определение усилий в ограждающих конструкциях котлована / В.В. Логутин, М.А. Таржиманов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета : Серия: Строительство и архитектура: научно-теоретический и производственно-практический журнал. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. – С.29-34.

2. Использование в Камбодже опыта мониторинга строительных конструкций РФ / Э.А. Таржиманов, М.А. Таржиманов, Хо Чантха // Известия высших учебных заведений «Северо - Кавказский регион». – Ростов н/Д. – 2011. – № 2. – С. 91-95.
3. Свойства бетона предварительно напряженных шпунтовых устройств/ М.А. Таржиманов, Д.Р. Маилян // Инженерный вестник Дона – 2011. – №4.
- в других изданиях:
4. Применение МКЭ в расчетах шпунтовых рядов / М.А. Таржиманов // Известия высших учебных заведений. – Северо-Кавказский регион. – г.Новочеркасск:Южно-рос. гос. тех. ун-т, 2006. – С.119-120.
5. Численное моделирование взаимодействия оползневых склонов со зданиями и сооружениями / М.А. Таржиманов // «Строительство – 2001»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2001. – С.98-99.
6. Математическое моделирование оползневых склонов / В.В. Логутин, М.А. Таржиманов // Сергеевские чтения. Выпуск 4: материалы годичной сессии научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М.:ГЕОС, 2002. – С. 547-549.
7. Учет вертикальной составляющей давления грунтов при расчете подпорных сооружений / А.В. Чмшкян, М.А. Таржиманов //«Строительство – 2004»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2004. – С. 92.
8. Особенности расчета устойчивости склонов и откосов во взаимодействии с удерживающими сооружениями / М.А. Таржиманов // «Строительство – 2005»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2005. – С.165.
9. Повышение эффективности проектных решений удерживающих сооружений (УС) / В.В.Логутин, Л.Н.Панасюк, М.А. Таржиманов //«Строительство – 2006»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2006. – С.154-155.
10. Некоторые особенности численного моделирования взаимодействия подпорных сооружений с грунтовыми массивами в глубоких выемках / О.Е. Приходченко, В.В. Логутин, А.В. Чмшкян, М.А. Таржиманов //«Строительство – 2007»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2007. – С.160-161.
11. Взаимодействие удерживающих сооружений с грунтовыми массивами / Л.Н.Панасюк, В.В. Логутин, М.А. Таржиманов //«Строительство – 2008»:

2012А
13341 24

12 - 13341

материалы междунар. науч.-практ. конф. – Ростов-н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2008. – С.151-152.

12. Определение усилий в подпорных сооружениях с учетом жесткостных параметров системы / В.В. Логутин, М.А. Таржиманов //«Строительство – 2009»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2009. – С.181-182.

13. Инженерный способ определения усилий в ограждающих конструкциях котлована / В.В. Логутин, М.А. Таржиманов, Э.А. Таржиманов //«Строительство – 2010»: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Ростов-н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2010. – С.141-142.

14. Результаты проектирования ограждения котлованов с использованием программного комплекса Sconstr / В.В. Логутин, М.А. Таржиманов // Актуальные проблемы фундаментостроения на юге России: материалы Российской науч.-практ. конф., посвященной памяти профессоров Ю.Н. Мурзенко и А.П. Пшеничкина. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2010. – С. 130-134.

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. – №2010616370

16. Анализ влияния преднапряжения на работу удерживающих сооружений/ М.А. Таржиманов, Д.Р. Маилян// Вопросы проектирования железобетонных конструкций. – Ростов н/Д: Изд-во пед. ун-та, 2011. – С.70-73.

17. Изменение свойств предварительно нагруженного бетона удерживающих устройств / М.А. Таржиманов, Д.Р. Маилян//«Строительство – 2012»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2012. – С.141-142.

Подписано в печать 11.04.2012. Формат 60x84. ^{1/16} Ризограф.

Бумага писчая. Уч.-изд.л.1,5. Тираж 100 экз. Заказ 162/12.

Редакционно-издательский центр РГСУ.

344022, Ростов н/Д, ул. Социалистическая, 162