

На правах рукописи

КРАВЧЕНКО ТАТЬЯНА ИВАНОВНА

**ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНО НАПРЯЖЁННОГО
СОСТОЯНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ
СООРУЖЕНИЙ**

Специальность 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение (технические науки)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых» и ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук,
профессор Филатов Владимир Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Зотеев Олег Вадимович, ИГД УрОРАН;

кандидат технических наук
Аксёнов Анатолий Аркадьевич,
ОАО «Урал ВНИМИ»

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

Защита состоится 26 сентября 2013 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.280.04 в ауд. 3306 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» по адресу: 620144 г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, д. 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».

Автореферат разослан 26 августа 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



И. В. Абатурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В строительстве неуклонно возрастает значение учёта несущей способности оснований сооружений и инженерных конструкций, ведётся совершенствование методик проектирования и расчётов, проводится работа по обеспечению их безопасности и эксплуатационной надёжности. Всё это связано с комплексом проблем, которые возникают при строительстве новых и реконструкции существующих инженерных сооружений в районах распространения слабых водонасыщенных грунтов.

Проектировщики сталкиваются с дефицитом площадей под строительство, увеличением этажности зданий, влиянием наземного и подземного транспорта на несущую способность грунтовых оснований и с другими проблемами. Поэтому встаёт вопрос об освоении новых территорий, на которых наиболее часто встречаются участки с процессами подтопления, с изменением физико – механических свойств грунтов в сторону ухудшения их несущей способности. Всё это определяет необходимость проведения научно - исследовательских и опытно - экспериментальных работ для изучения несущей способности грунтов.

Как было отмечено на Международной конференции «Новые дороги в России» (г. Пенза , 14 – 17 ноября 2011 г.) и в материалах Уральских конференций о стратегии развития строительного комплекса в России (г. Челябинск, 2011 г.), во многих бедах строительства виноваты устаревшие технология и нормы расчётов, недостаточное внимание к грунту, слабая изученность процессов изменения литологии грунтов. В связи с этим нами были рассмотрены и решены некоторые задачи, стоящие при проектировании оснований методами нелинейной механики грунтов в рамках статической постановки, позволяющей учитывать характерные для слабых грунтов особенности.

Объектом исследования является упругопластический грунтовый массив, находящийся под действием статической нагрузки.

Предметом исследования являются прочностные свойства слабых грунтов под действием нагрузки, создаваемой различными сооружениями.

Цель исследований заключается в разработке методик исследования напряженно – деформированного состояния упругопластического массива грунта, как оснований насыпей и фундаментов, с определением критических нагрузок в рамках постановки плоских задач.

Идея работы заключается в описании процесса упругопластической деформации в слабых грунтах с помощью аналитических выражений и методик решений плоских задач путём их проверки на физических и математических моделях для прогнозирования состояния грунта.

Основные задачи исследований:

- изучение существующих методов оценки несущей способности слабых грунтов;

- разработка аналитических методов решения плоских задач для оценки несущей способности слабых грунтов от действия треугольной нагрузки;

- создание математической и физической моделей со свойствами упругопластического грунта из оптически чувствительного материала (желатина и воды), позволяющих исследовать процесс развития напряжённого состояния в самих моделях;

- применение полученных методов решения для оценки состояния напряжённо-деформированного массива грунта от действия насыпей и фундаментов различных сооружений;

- внедрение методик оценки критического состояния слабых грунтов в проектные разработки научно - исследовательских организаций.

Фактический материал. В основу работы положен фактический материал, полученный автором при выполнении проектных разработок и инженерно - геологических изысканий, проводившихся совместно с научно - исследовательским институтом «Гражданпроект» (г. Санкт-Петербург), ОГУП «Ивановодорпроект», институтом «Промстройпроект».

Методы исследования. В работе использован комплекс следующих методов:

- аналитический метод;
- физический (метод фотоупругости);
- численный (метод конечных элементов).

Научная новизна работы заключается в следующем:

- получены аналитические зависимости, позволяющие исследовать

критическое давление на глубинах, на которых происходит начало развития и завершение пластических областей, напряжённое состояние в этих случаях не может нарушить предельного равновесия массива грунта;

- выполнена оценка критической нагрузки для различных типов слабых грунтов;

- построены графические зависимости, упрощающие определение критической нагрузки для различных типов слабых грунтов;

- разработана физическая модель со свойствами слабого грунта, которая позволяет оценивать пределы применения полученных решений плоских задач;

- аналитически установлены конкретные условия, позволяющие на основании физико – механических характеристик грунтов определять устойчивое состояние инженерной системы.

Практическое значение работы. Разработанная методика оценки критического состояния слабых грунтов была применена при проектировании:

- насыпей окружной автодороги (КАД) г. Санкт – Петербурга;
- насыпи автомобильной дороги Иваново – Кострома;
- оснований ленточных фундаментов 10 – ти этажного жилого дома по ул. Лежневской в г. Иваново;
- основания для складирования торфяного грунта.

Разработанная методика может быть использована для составления проектной документации при строительстве гибких фундаментов, насыпей автодорог, отвалов торфяного грунта и отвалов сырья предприятий химической промышленности на слабых грунтах различного литологического состава.

Защищаемые положения:

1. Предельное состояние грунта от действия треугольной нагрузки развивается на определённой глубине и зависит от физико – механических свойств грунтов и параметров нагрузки, анализ зависимостей которых позволяет прогнозировать состояния грунта, которое переходит от упругого к пластичному.

2. На основании физико – механических показателей в качестве аналога слабого грунта предложена модель из желатина и воды, в которой упругопластические деформации соответствуют подобным явлениям, возникающих в натуральных условиях.

3. Аналитические зависимости и методики решения плоских задач позволяют определять, управлять и прогнозировать состояние устойчивости конкретных инженерных сооружений на слабых грунтах.

Достоверность результатов исследований обеспечивается объективностью данных о физико-механических свойствах слабых грунтов, результатами инженерно - геологических изысканий, материалами, полученными при выполнении математического и физического моделирования, а также фундаментальными положениями теории упругости и пластичности, на которых были построены теоретические исследования.

Апробация результатов работы. Отдельные разделы диссертации были доложены в качестве докладов, получивших одобрение: на итоговой научно-технической конференции Ивановской государственной архитектурно - строительной академии (ИГАСА) (г. Иваново, 1999 г.); на 56 - й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов Санкт-Петербургского государственного архитектурно - строительного университета (СПб ГАСУ) (г.С.- Петербург, 1999 г.); II - й научной конференции аспирантов ИГАСА (г. Иваново, 2001 г.); научном семинаре кафедры "Деревянные конструкции и пластмассы " СПб ГАСУ (г. С - Петербург, 2001 г.); научных семинарах кафедры "Механика" ИГАСА (г. Иваново, 1999, 2000, 2003, 2007 гг.). Методики исследования, предложенные автором, были внедрены при участии автора в проектные разработки научно - исследовательских институтов: «Гражданпроект» (г. Санкт-Петербург), «Промстройпроект» (г. Иваново), ОГУП «Ивановодорпроект» (г. Иваново).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ: 8 статей и 2 материала научной конференции, в том числе две работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, определённых ВАК.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Объём работы составляет 133 страницы, в том числе 54 рисунка, 21 таблицы. Библиографический список состоит из 98 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю профессору, доктору геолого – минералогических наук В.В. Филатову, поддержка и ценные советы которого способствовали

выполнению диссертационной работы. Диссертант выражает особую благодарность и самую искреннюю признательность доктору технических наук В. П. Валуйских за оказанную поддержку и помощь в выполнении работы.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. Предельное состояние грунта от действия треугольной нагрузки развивается на определённой глубине и зависит от физико – механических свойств грунтов и параметров нагрузки, анализ зависимостей которых позволяет прогнозировать состояния грунта, которое переходит от упругого к пластичному (гл.1 и 2).

В защищаемом положении 1 раскрывается состояние проблемы изучения напряжённого состояния слабых грунтов. Отличительная особенность слабых грунтов заключается в их способности от собственного веса и внешней нагрузки, давать значительные медленно протекающие осадки. С позиций механики грунтов слабые грунты характеризуются низкими показателями механических свойств.

На основании [Амарян Л. Г.,1995 г.] слабыми грунтами являются типы слаболитифицированных био - и минерогенных грунтов, состоящие из торфов, заторфованных грунтов, сапропелей и морских илов. В генетическом отношении органические и органно-минеральные типы слаболитифицированных грунтов характеризуются общностью зарождения в водной или избыточно увлажнённой среде с протеканием сложных микробиологических и биохимических процессов распада органического вещества и осадконакопления в анаэробных условиях.

На рис.1 приведены классификационные отличия между торфяными, заторфованными грунтами и сапропелями по показателю прочности τ . Соппротивление сдвигу или удельное сцепление сапропелей нередко на порядок ниже, чем у торфа и колеблется в слабоминерализованных сапропелях в пределах $0,003-0,03 \times 10^5$ Па. Категорию слабых грунтов по Далматову Б.И. [1975г.] составляют водонасыщенные глинистые грунты, которые при давлении до 0,3 МПа имеют модуль деформации $3 \div 5$ МПа и относительную влажность больше 0,8. Угол внутреннего

трения весьма мал и может быть принят равным нулю, а сопротивление сдвигу – величине сцепления.

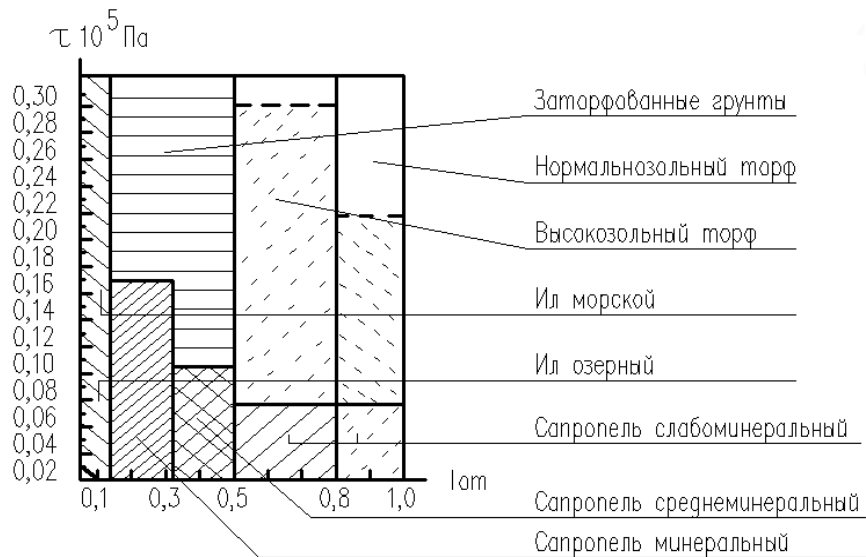


Рис. 1. Зависимость показателя прочности τ слабых грунтов от относительного содержания органических веществ $I_{от}$

Наши исследования были проведены для решения смешанных плоских задач. Смешанная задача соединяет решение теории упругости для начальной стадии нагружения и решение теории предельного равновесия для стадии разрушения основания. Расчётные методы теории упругости и теории предельного равновесия широко используются в практике проектирования при исследовании слабых и неслабых грунтов.

Существующие методы исследования несущей способности грунтовых оснований, позволяющие определять критическое давление для связных и несвязных грунтов. Напряженное состояние определяется с использованием решений теории линейно - деформируемой среды, если в основании фундамента полностью отсутствуют зоны, в которых нарушена прочность грунта (он находится в предельном состоянии), или они незначительны по своим размерам. При развитии зоны с предельным состоянием происходит перераспределение напряжений, влияющее на величину образующейся пластической области.

Таким образом, возникает необходимость решения смешанной упругопластической задачи. Давление, соответствующее началу возникновения области пластической деформации и названное начальной критической нагрузкой, было установлено Н.П. Пузыревским (1934 г.) для несвязного грунта, Н.М. Герсевановым и О.К. Фрелихом (1938 г.). Ими был рассмотрен случай, когда распределение напряжений от собственного веса в грунте было гидростатическим.

Предельное давление при полосовой нагрузке на невесомую полуплоскость описывается формулой Прандтля:

$$\text{пред } P_{\text{кр}} = (q + C \operatorname{ctg} \varphi) \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - C \operatorname{ctg} \varphi, \quad (1)$$

где C - удельное сцепление грунта; $q = \gamma h$ - боковая нагрузка; φ - угол внутреннего трения; γ - удельный вес грунта.

Для пластической области используется выражение И.В. Фёдорова (1940 г.) для критической нагрузки:

$$P_{\text{кр}} = \pi \left[C - \frac{P_0^2}{4C} (1 - \xi_0)^2 \right], \quad (2)$$

где P_0 - начальная внешняя нагрузка; ξ_0 - коэффициент бокового давления в условиях естественного залегания.

Для водонасыщенных глинистых грунтов и их нестабилизированного состояния (когда внутреннее трение не реализуется) была получена формула предельной нагрузки А.С. Строгановым (1963 г.).

$$\text{пред } P_{\text{кр}} = 6,025 C + \gamma h, \quad (3)$$

где C - удельное сцепление грунта; γh - боковая нагрузка от веса грунта; h - толщина грунтового слоя от уровня поверхности земли до подошвы фундамента.

Из проведённого анализа, существующих методов расчёта критических усилий нами было замечено, что существующие методы и решения по определению предельного равновесия в механике грунтов не позволяют учесть все условия, обеспечивающие полное использование прочностных и деформационных характеристик слабых грунтов для некоторых видов критических нагрузок. Обычно при расчётах применяют формулы, дающие несущую способность и коэффициенты запаса, рассматривающиеся в строгих решениях, но для приближения их к действительным условиям часто требуются дополнительные расчётные преобразования, нуждающиеся в дальнейших исследованиях.

Опираясь на известные аналитические решения и на положения строительной механики, нами были получены формулы для вычисления критического давления от треугольной нагрузки и максимальной глубины его проявления.

Расчётная схема представляла полупространство с полосообразной треугольной нагрузкой P (рис.2) [1] и [6], которое находилось в гидростатическом напряженном состоянии: $\sigma_x^0 = \sigma_z^0 = \gamma z$, где σ_x^0 и σ_z^0 - начальные составляющие напряжения; γz - нагрузка от веса грунта до уровня z . Напряжённое состояние определялось весом полупространства и влиянием нагрузки. Для точки M (рис.2), расположенной на глубине z , находили главные напряжения при $\beta = \alpha/3$, т. к. наибольшие и наименьшие нормальные напряжения возникают на площадках, расположенных по биссектрисам углов видимости и площадкам им перпендикулярным.

Задача заключалась в определении такой величины критического давления $P_{кр}$, при котором область предельного равновесия распространяется на глубину $z_{макс}$.

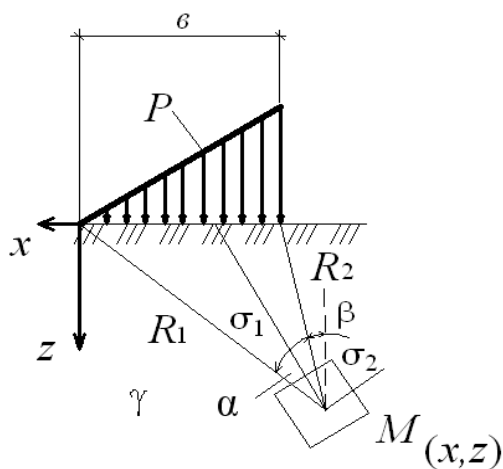


Рис.2. Схема действия треугольной нагрузки в условиях плоской задачи

Подставив выражение главных напряжений в условие предельного равновесия [Цытович Н.А., 1983 г.]:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2 \sin \varphi \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + P_e \right), \quad (4)$$

где $P_e = C \operatorname{tg} \varphi$ – давление связности; C – расчётное значение сцепления связного грунта; φ – угол внутреннего трения грунта, путём дифференцирования (4) нашли угол видимости α и максимальную глубину проявления критического давления $z_{макс}$ [1]

$$\alpha = \frac{3}{2} \arccos\left(\frac{x}{0,355b} \sin \varphi\right), \quad (5)$$

$$z_{\max} = \frac{3 \sin \varphi \frac{Px}{\pi b} \arccos\left(\frac{x}{0,355b} \sin \varphi\right) - 0,71 \frac{P}{\pi} \sin[\arccos\left(\frac{x}{0,355b} \sin \varphi\right)] + C \cdot \cos \varphi}{\frac{P}{\pi b} \ln \frac{R_2^2}{R_1^2} (0,71 - \sin \varphi) - \gamma \sin \varphi}, \quad (6)$$

где b - длина базы треугольной нагрузки P ; x - ордината центра тяжести эпюры треугольной нагрузки; R_1 и R_2 - направляющие, соединяющие начало и конец полосовой нагрузки с точкой M на глубине z .

Для определения $P_{\text{кр}}$, численное значение $z_{\text{макс}}$ вычислили по рекуррентным формулам краевой задачи [Соколовский В.В., 1969 г.]. Подставив найденное значение $z_{\text{макс}}$ в уравнение (6), получили формулу критического усилия $P_{\text{кр}}$ [1] и [6]:

$$P_{\text{кр}} = \frac{\pi(\gamma \cdot z_{\text{макс}} \sin \varphi + C \cdot \cos \varphi)}{\frac{z_{\text{макс}}}{b} \ln \frac{R_2^2}{R_1^2} (0,71 - \sin \varphi) - 2 \frac{x}{b} \alpha \sin \varphi + 0,71 \sin \frac{2}{3} \alpha}, \quad (7)$$

где γ - удельный вес грунта.

Учитывая свойства слабых грунтов, выполнили численный анализ критической нагрузки и максимальной глубины её проявления для широкого диапазона значений физико - механических свойств слабых грунтов и параметров треугольной нагрузки. На основании этого были установлены линейные зависимости $P_{\text{кр}}$ от физико - механических характеристик: C , φ , γ увлажнённых заторфованных грунтов при различной длине баз нагрузки b . Графический вид этих зависимостей представлен на рис. 3 и 4.

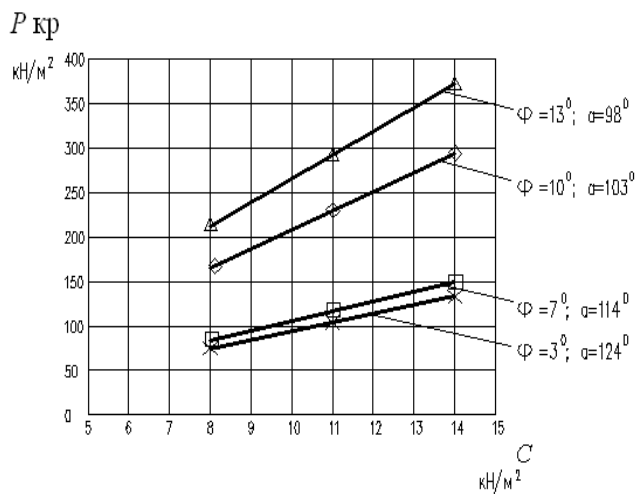


Рис. 3. Зависимость нагрузки $P_{\text{кр}}$ от удельного сцепления грунта C

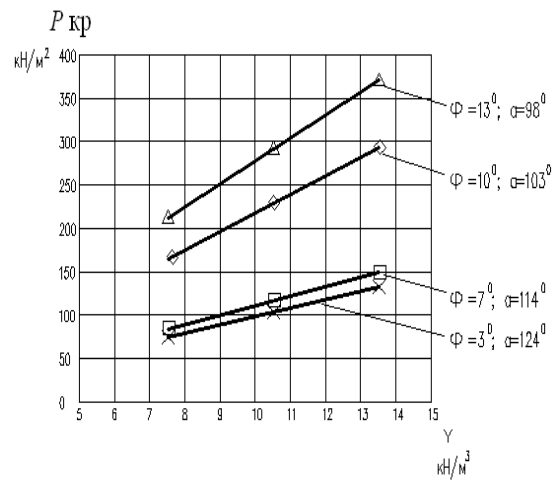


Рис. 4. Зависимость нагрузки $P_{\text{кр}}$ от удельного веса грунта γ

Из анализа полученных зависимостей было установлено, что увеличение параметров физико - механических характеристик грунта: γ , φ и C приводят к возрастанию критической нагрузки $P_{кр}$ и максимальной глубины залегания $z_{\text{макс}}$, что указывает на возрастание его несущей способности, но при этом происходит уменьшение значения угла видимости α . Значения критических нагрузок для разных типов слабых грунтов, определённых по графическим зависимостям представлены в табл.1.

Таблица 1 - Критические нагрузки для разных типов грунтов

№ п/п	Типы грунтов	γ , МПа/м	φ , °	C , МПа	$P_{кр}$, МПа	$z_{\text{макс}}$, м
1	Сапропель	0,0013	3	0,00025	0,050	0,73
2	Торф низинный	0,0015	7	0,0045	0,063	0,77
3	Глины мягко-пластичной консистенции	0,0019	8	0,0005	0,075	1,0
4	Ил озёрный	0,0014	4	0,0003	0,060	0,74
5	Суглинок водо-насыщенный	0,002	13	0,0005	0,125	1,2

Квазилинейные зависимости $P_{кр}$ от φ , γ , C , представленные на рис. 3 и 4 позволяют упростить расчёты критических усилий для слабых оснований.

Полученные выражения и зависимости были применены при исследовании моделей, которые рассмотрены в защищаемом положении 2.

Второе защищаемое положение. На основании физико – механических показателей в качестве аналога слабого грунта предложена модель из желатина и воды, в которой упругопластические деформации соответствуют подобным явлениям, возникающих в натуральных условиях (гл.3).

С применением экспериментального метода фотоупругопластичности и численного метода конечных элементов (МКЭ) нами выполнено исследование напряженно - деформированного состояния слабых

грунтов на моделях, изготовленных из оптически чувствительного материала. Оптический метод исследования является одним из эффективных методов моделирования напряжений в упругопластических средах, т. к. он позволяет получить не только количественные данные для выбранных точек, но и картину распределения напряжений.

Для оптических экспериментов был выбран материал желатин, близкий по физическим свойствам к слабым грунтам и имеющий следующие физические характеристики: $\varphi = 7^\circ$; $C = 0,0025$ МПа; $\gamma = 0,01$ МПа /м и $E = 3$ МПа. Этот материал прозрачен, оптически чувствительный. Это дает возможность применять его для изучения напряжений, вызываемых объёмными силами. Проведено несколько серии испытаний образцов с разной концентрацией желатина и воды, прежде чем модель в двух случаях была приближена по своим свойствам к слабым грунтам. Концентрация испытуемого материала была: в первой серии желатин – 50 г, вода – 500 г; во второй серии желатин – 50 г; вода – 250 г.

Определение прочностных характеристик проб желатина проводили методом прямого сдвига на сдвиговом приборе с пневматическим нагружением ИСПА – 40/35 [2]. Испытание в первой и во второй сериях выполнены при соответствующих значениях нормальных и касательных напряжений.

Для проб желатина этих же концентраций были определены коэффициенты вязкости (η): для образцов в первой серии $\eta = 73991,54$ Па·с; для образцов во второй серии $\eta = 287744,89$ Па·с.

Путём последующих вычислений полные физико - механические характеристики моделей составили: для первого вида $\varphi = 7^\circ$, $C = 0,025$ МПа, $\gamma = 0,01$ МПа/ м и $E = 3$ МПа; для второго вида $\varphi = 9^\circ$, $C = 0,013$ МПа, $\gamma = 0,01$ МПа/м и $E = 3,4$ МПа. Слабые грунты, имеющие физические характеристики близкие к характеристикам моделей, являются суглинистые илы, супеси и суглинки текучей консистенции.

При дальнейших исследованиях в специально загрузочных приспособлениях под действием приложенного давления были испытаны 3 вида желатиновых моделей такого же вещественного состава, имеющих размеры: 140x50x5 мм, 130x50x5 мм, 120x50x5 мм. Для проведения оптического эксперимента были использованы поляризационно - проекционная установка и координатно - синхронный поляриметр совместно с компенсатором Краснова СКК-2,

предназначенные для исследования всего поля напряжений в моделях и фотографирования изохроматической картины [5].

Применение значительной нагрузки на модель, дало возможность получить оптическую разность хода лучей и фотографировать изохромы (метод полос) на экран прибора ППУ. Изображения изохрономических картин при предварительном определении цены полосы моделей позволили построить графики распределения напряжений в моделях (рис. 5 и 6). Таким образом, созданная нами модель, состоящая из желатина и воды, позволяет проводить экспериментальные исследования для изучения слабых грунтов.

В соответствии с особенностями иллюстрационной картины напряжённого состояния можно обосновать полученные результаты исследований.

1. Экспериментальные результаты показали, что во всех моделях напряжения σ_x и σ_z , а также касательное напряжение имели максимальные значения в точках под распределенной нагрузки P (рис.5). По мере удаления точек сечения вглубь модели характер напряжения оставался прежним, а величина их падала.

2. Величины касательных напряжений τ_{xz} , τ_{\max} в точках сечений по мере удаления вглубь модели уменьшались, а к середине модели они принимали нулевое значение (рис.6).

Кроме физического моделирования было выполнено исследование напряжённого состояния в моделях от действия треугольной нагрузки с помощью метода конечных элементов. Изополя напряжений приведены на диаграммах рис. 7. Полученные результаты исследований показали следующую картину распределения напряжений в моделях.

1. Развитие зон с максимальным значением напряжением σ_x происходит справа от края модели на 2,4 см, с глубиной сечения оно начинает уменьшаться (рис. 7а).

2. Зоны с наибольшим значением σ_z проходят близко к центру тяжести треугольной нагрузки, с глубиной сечений напряжение увеличивается, а потом начинает уменьшаться к левому краю модели (рис.7 б).

3. Зоны с максимальным касательным напряжением τ_{xz} представлены в виде двух эллипсовидных форм, под центром

тяжести треугольной нагрузки напряжение принимает минимальное значение, а с удалением сечений в глубь модели начинает увеличиваться (рис.7 в).

Исследование напряжённого состояния методом конечных элементов при упругопластической реакции модели показало усложнение картин распределения напряжений, в виде появления областей развития пластических деформаций.

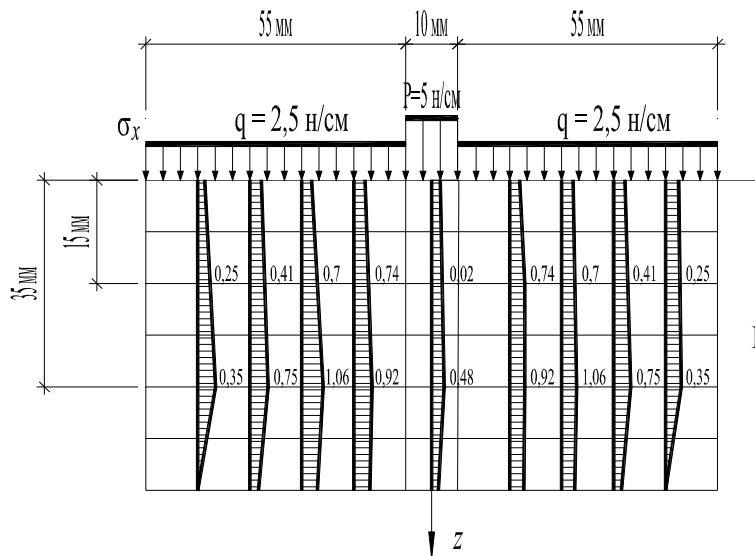


Рис. 5. Распределение нормальных напряжений σ_x в вертикальных сечениях модели основания фундамента

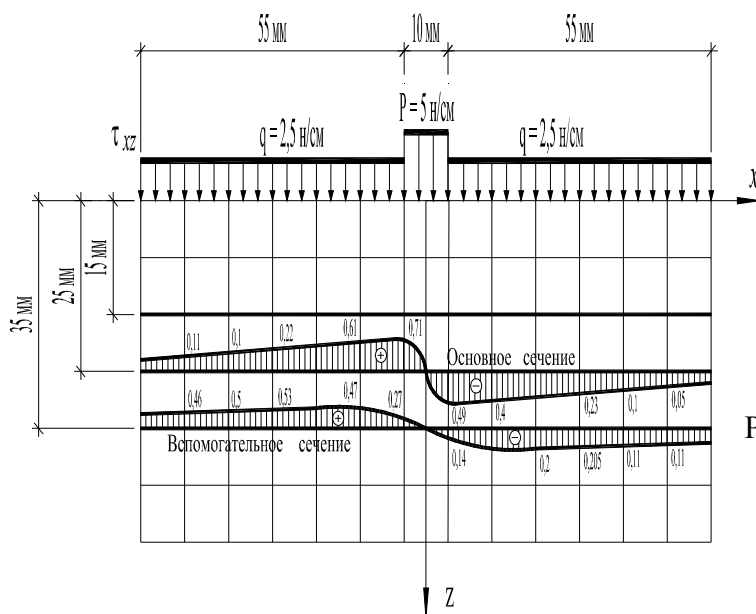
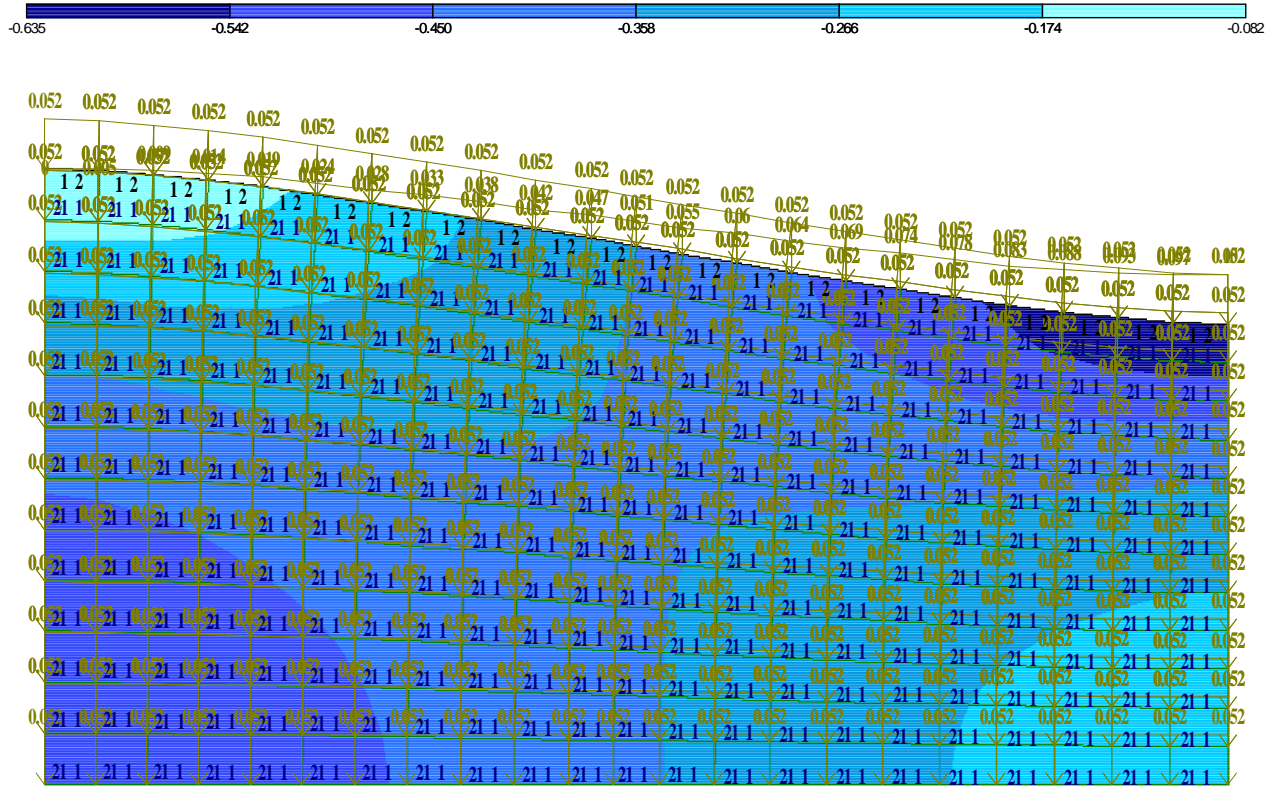
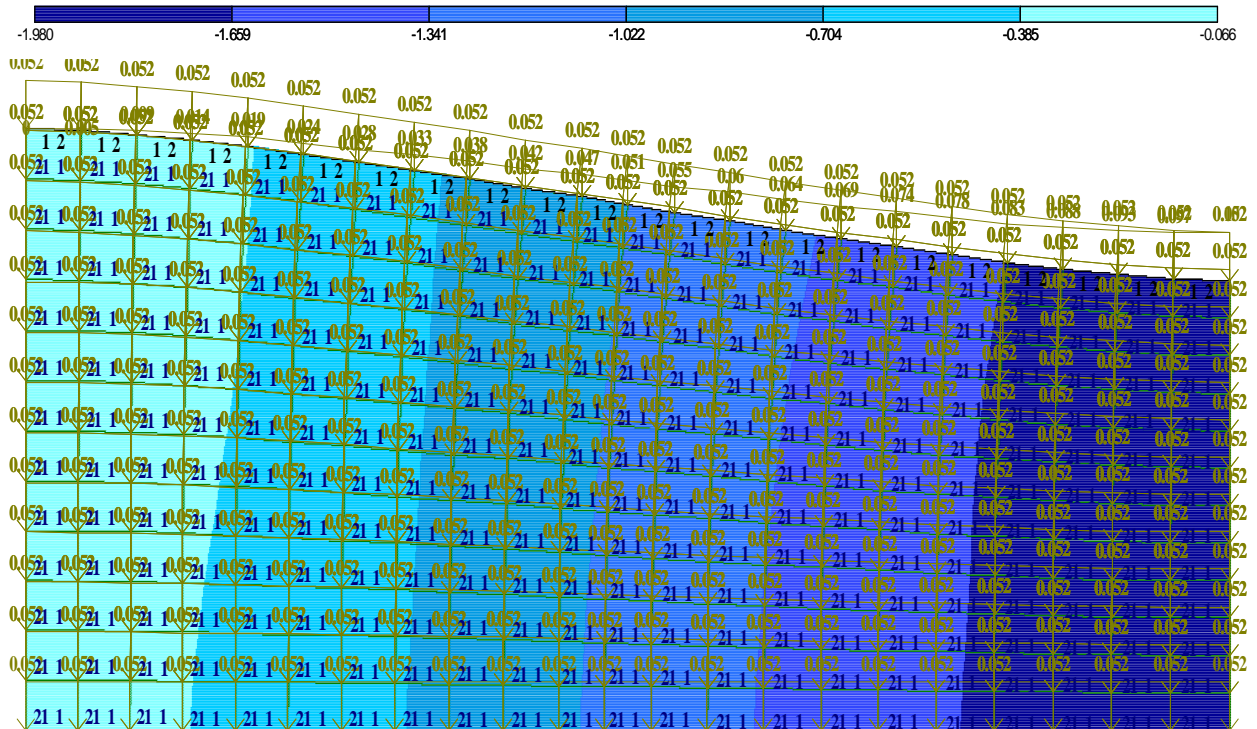


Рис. 6. Распределение касательных напряжений τ_{xz} в горизонтальных сечениях модели основания фундамента

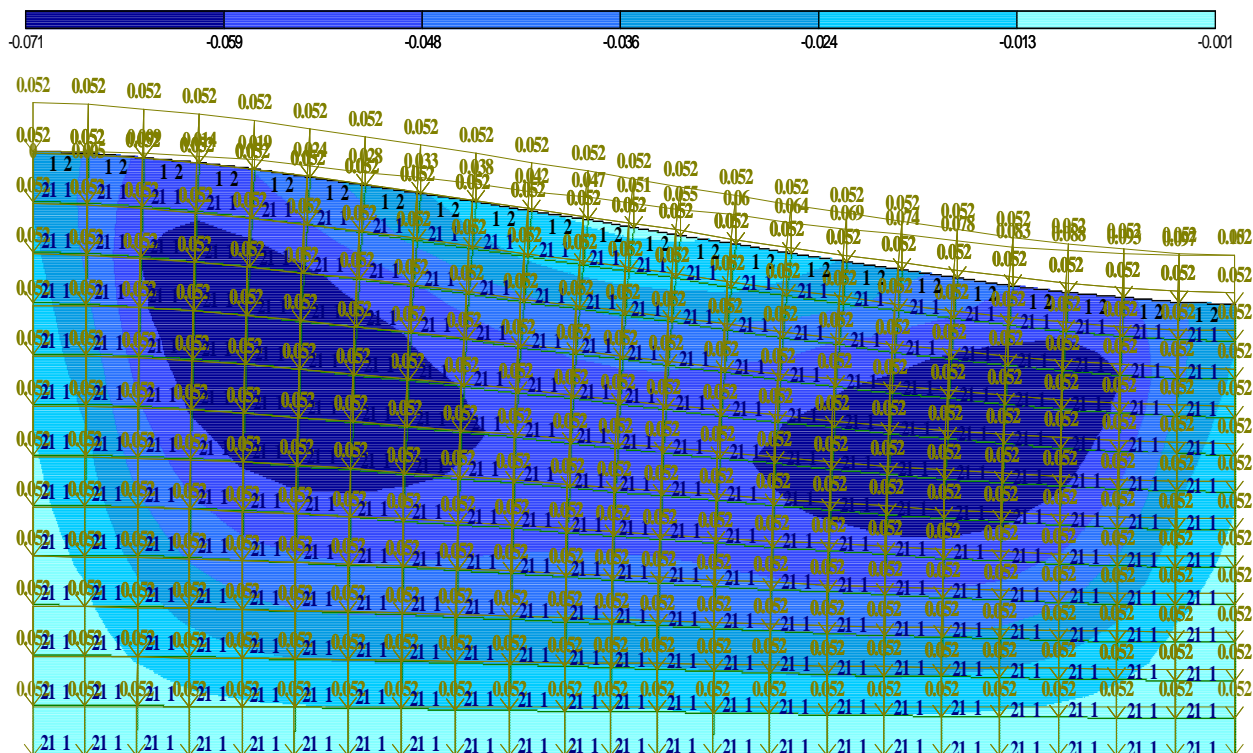
Выполненное исследование на моделях с использованием двух методов даёт всестороннюю оценку напряжённо - деформированного состояния грунтовой среды. Поэтому при анализе напряженного состояния модели можно в равной степени использовать тот или другой метод, делая выбор в пользу наиболее удобного для конкретной ситуации.



a)



b)



в)

Рис.7а, б, в. Изополя составляющих напряжений в вертикальных сечениях образца от треугольной нагрузки для

а) σ_x ; б) σ_z ; в) τ_{xz}

Поведение напряжённого состояния в моделях слабых грунтов, соответствует натурным условиям, так как оно было получено в соответствии с коэффициентами теории подобия [Кирпичёв М.В., 1953 г.]. Для натуральных условий коэффициенты подобия составляют: для фундаментов $k_{\text{под.ф}} = 100$, для насыпей $k_{\text{под.н}} = 1000$.

Полученные аналитические и экспериментальные методики изучения слабых грунтов были использованы при решении практических задач на конкретных примерах в строительстве, которые указаны в защищаемом положении 3.

Третье защищаемое положение. Аналитические зависимости и методики решения плоских задач позволяют определять, управлять и прогнозировать состояние устойчивости конкретных инженерных сооружений на слабых грунтах (гл. 4 и 5).

Настоящие технические решения разработаны на основе инженерно-геологических данных и общих параметров участков Восточного полукольца окружной автодороги КАД г. Санкт - Петербурга, автодороги Иваново - Кострома, а также отвалов торфяного грунта.

С целью оценки устойчивости насыпей выполнена проверка грунтовых оснований путём сравнения расчётных внешних усилий с критическими при соблюдении условия: $P_{\text{РАСЧ}} < P_{\text{КР}}$ [7]. В соответствии с полученными результатами критических усилий для оснований насыпей выполнялось техническое решение о наиболее целесообразном варианте конструкции на слабом грунте. Для случаев, где условие не соблюдалось, предусматривалось использование слабого грунта в качестве основания с применением технических мероприятий, обеспечивающих его устойчивость.

Для увеличения устойчивости автодорог было предусмотрено усиление их основания грунтоцементными сваями диаметром 1 м с расстоянием между осями свай 3,5 м. Для отвала торфяного грунта предусмотрено применение песчаных свай диаметром равным 0,5 м с расстоянием между ними 4,5 м. После необходимых технических мероприятий был выполнен расчёт устойчивости оснований в межсвайном пространстве от действия треугольных нагрузок с учётом сил трения грунта о сваи (рис.8 и 9). Устойчивость насыпей автодорог и торфяного грунта от действия распределённых нагрузок достигнута [7].

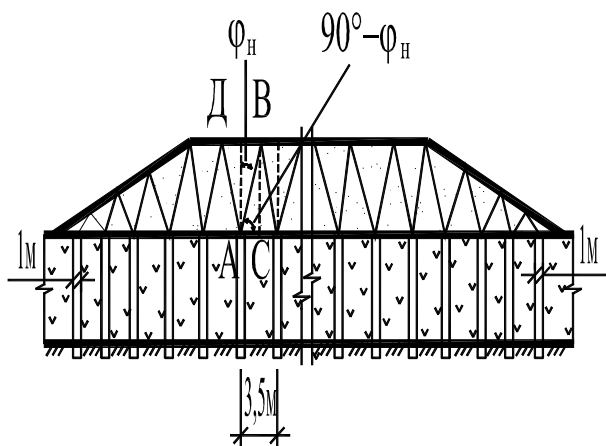


Рис. 8. Поперечный разрез насыпи, укрепленной сваями

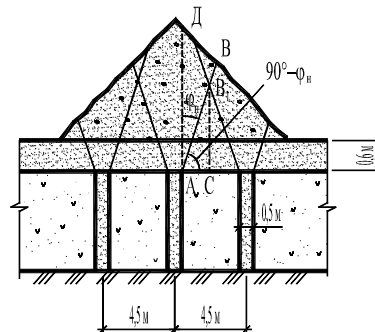


Рис. 9. Поперечный разрез насыпи торфяного грунта

Полученные автором специальные схемы и методики расчёта участков оснований автодорог на слабых грунтах могут быть использованы в проектных разработках для любых видов насыпных сооружений.

После исследования насыпей была выполнена проверка устойчивости гибких фундаментов. Гибким является фундамент,

деформации которого приводят к перераспределению реактивных давлений грунта по его подошве [Далматов Б.И., 1975 г.].

Физико-технические характеристики слабых оснований были взяты из проектных разработок научно - исследовательского института «Гражданпроект» (г. Санкт-Петербург) и «Промстройпроект» (г. Иваново). В исследованиях поставленных задач, также как и для насыпей, были использованы полученные аналитические и экспериментальные методики решений плоских задач. При исследовании фундаментов (рис. 10 и 11) на уровне подошвы имела место трапецевидная эпюра давлений, которую отдельно разбивали на прямоугольный и треугольный элементы, и находили для каждого вида интенсивности нагрузок критическое усилие и максимальную глубину его проявления [8]. Путём сложения критических усилий от каждой эпюры давлений находили общее критическое давление.

Проверка несущей способности фундаментов для всех случаев выполнялось так же как и для насыпей. Для фундаментов дополнительно определялось расчётное сопротивление R . Критерием устойчивости послужило неравенство $P_{расч} < P_{кр} < R$. В тех случаях, где устойчивость не соблюдалась, выполнялись необходимые технические мероприятия по усилению грунтового основания.

Результаты исследований насыпей и фундаментов показали, что полученные аналитические и экспериментальные решения могут быть применимы для расчёта устойчивости грунтовых оснований конкретных инженерных сооружений.

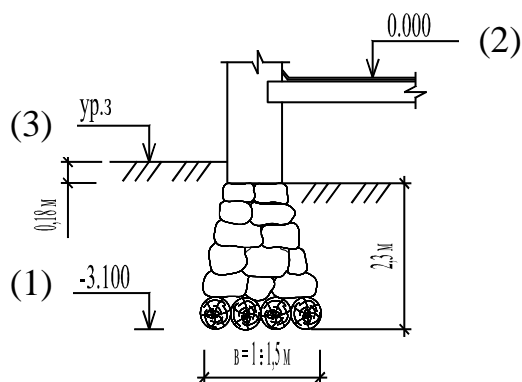


Рис.10. Сечение буттового
фундамента:

- $b = 1:1,15$ - ширина подошвы фундамента;
- 1 - отметка низа фундамента;
- 2 - отметка уровня пола здания;
- 3 - отметка уровня поверхностного слоя земли

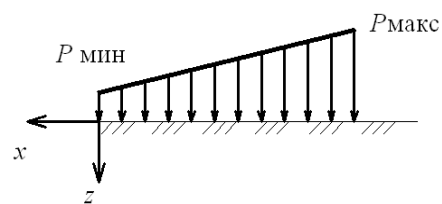


Рис.11. Схема трапецевидной
нагрузки:

$P_{мин}$ и $P_{макс}$ - минимальное и
максимальное давление на уровне
подошвы фундамента

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований решены поставленные задачи и получены следующие выводы:

1. Известные расчётные методы, используемые в современной нормативной литературе, не всегда обеспечивают возможность найти экономичные и эффективные решения при проектировании фундаментов и насыпей на слабых грунтах.

2. Одним из возможных способов решения таких задач являются формула критического давления для треугольных нагрузок с учётом развития областей упругопластических деформаций в слабых основаниях и расчёт максимальных глубин проявления предельного состояния грунтов.

3. Разработанные теоретические методики позволили дать расчётное обоснование конструктивно - технологического решения устройства насыпи на слабых грунтах; усиления цементно - грунтовыми сваями, что в свою очередь создаёт достаточную устойчивость и прочность основания.

4. Лабораторные опыты показали, что для моделирования напряженно-деформированного состояния толщи слабого грунта можно использовать материал с высокой оптической чувствительностью - желатин, близкий к грунтам по физическим свойствам. Это позволило обосновать методику проведения экспериментов и правильный выбор материала (желатина).

5. Проверка полученных решений задач, с применением поляризационно - оптического метода, обладающего наглядностью и метода конечных элементов (МКЭ) дала достоверный результат.

По теме диссертации опубликованы следующие основные работы:

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, определённых Высшей аттестационной комиссией:

1. Кравченко Т.И., Филатов В.В. Оценка предельного критического усилия на упругопластическую грунтовую среду от действия треугольной нагрузки // Известия вузов. Горный журнал № 5. 2012. - С.121 -124.

2. Кравченко Т.И., Пищик Г.Ф. Исследование прочностных характеристик желатина в качестве упругопластической среды с определением коэффициента вязкости // Известия вузов. Строительство. Вып.1. 2007. - С.108 -112.

Работы, опубликованные в других изданиях:

3. Кравченко Т.И., Пищик Г.Ф., Тощакова Е.В., Маринова Е.И. Применяемые методы итерации для решения смешанной плоской задачи предельного равновесия основания // Известия Ивановского отделения ПАНИ при ИГАСА. Вып. 4 . Иваново, 1999.- С. 147 -149.

4. Кравченко Т.И. Пищик Г.Ф. Расчёт напряжённого состояния грунтовой среды, находящейся в предельном состоянии равновесия // Материалы 56-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов Государственного архитектурно - строительного университета. С. - Петербург, 1999. - С. 86 -88.

5. Кравченко Т.И., Пищик Г.Ф. Экспериментально - теоретическое решение смешанной задачи теории предельного напряженного состояния упругопластической среды // Материалы II - й научной конференции аспирантов ИГАСА. Иваново, 2000. - С. 67 - 68.

6. Кравченко Т.И., Пищик Г.Ф. Исследование предельных критических усилий и глубины залегания зон предельного равновесия для некоторых видов нагрузок // Известия Ивановского отделения ПАНИ при ИГАСА. Вып. 6. Иваново, 2001. – С.110-113.

7. Кравченко Т.И., Вострикова О.Г. Изучение устойчивости насыпи на слабом основании, укрепленном сваями // Известия Ивановского отделения ПАНИ при ИГТА. Секция технических наук. Иваново, 2003.- С. 106 - 109 .

8. Кравченко Т.И., Вострикова О.Г. Исследование устойчивости оснований фундаментов на слабых грунтах // Известия Ивановского отделения ПАНИ при ИГТА. Секция технических наук. Иваново, 2003.- С. 100 - 106 .

9. Кравченко Т.И., Пищик Г.Ф., Куправа Л.Р., Мамедов М.Ш.. Исследование устойчивости насыпей на слабом основании, состоящих из отвалов продуктов переработки химической промышленности // Известия Ивановского отделения ПАНИ при ИГТА. Секция технических наук. Иваново, 2004.- С. 197 - 200 .

10. Кравченко Т.И., Мамедов М.Ш. Исследование устойчивости насыпи автодорог плитных перекрытий на слабом основании // Известия Ивановского отделения ПАНИ при ИГТА. Секция технических наук. Иваново, 2005. - С.120 – 122.

Подписано в печать 23.08.13.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,16. Тираж 80 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.