

## Анизотропные фундаменты мелкого заложения

А.Н. Баданин<sup>1</sup>, Ю.К. Демченко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

### Информация о статье

УДК 624.15

### История

Подана в редакцию 30 октября 2013  
Оформлена 21 марта 2014  
Согласована 28 марта 2014

### Ключевые слова

фундаменты мелкого заложения;  
плитные фундаменты;  
ленточные фундаменты;  
анизотропия;  
рациональные конструкции  
фундаментов;

### АННОТАЦИЯ

В статье проведен сравнительный анализ работ связанных с грунтами и конструкции фундаментов, как анизотропных тел. Помимо этого проводится сравнение рациональных конструкции фундаментов мелкого заложения, в частности форм подошвы плит ленточных фундаментов и форм их в плане. Анизотропия грунтов выражается в неравномерности напластования (линзы, включения и т.д.). В плитах анизотропия проявляется в форме плиты или в характере армирования, либо одновременно оба варианта анизотропии.

### Содержание

1.	Введение	118
2.	Обзор литературы	118
3.	Постановка задачи	119
4.	Формы анизотропии грунтов и фундаментов	119
	Выводы	124

1

Контактный автор:

+7 (921) 659 9876, chinnab@mail.ru (Баданин Андрей Николаевич, к.т.н., доцент)

2

+7 (952) 371 3922, jdkgerl@mail.ru (Демченко Юлия Кажымуратовна, магистрант)

## 1. Введение

Использование фундаментов мелкого заложения началось в древности. К примеру, основанием пирамиды Хеопса служит высокий холм, на котором была выровнена поверхность скалы и сверху уложены на ней трехтонные блоки известняка [1]. Следует отметить, что блоки известняка по своей структуре изотропны, то есть свойства по всем направлениям примерно одинаковы. Изначально расчетной моделью таких оснований являлась модель Фауса-Винклера [2], которая показывает прямо пропорциональность между местной деформацией основания и давлением на основание, то есть сопротивление грунта происходит непосредственно под нагрузкой (подошвой фундамента), а грунт по боковым граням фундамента не оказывает сопротивления. Основным недостатком является то, что грунт оседает не только под подошвой фундамента, но и вокруг него. Была создана более улучшенная модель упругого полупространства, которая основана на применении общих решений теории упругости. Используя данную модель, учитываются деформации грунтов не только в месте приложения нагрузки, но и вне её. Данная модель получила развитие в теории расчета конструкций на упругом полупространстве в работах Жемочкина Б.Н., Сеницына А.П. [3], Горбунова-Посадова М.И. [4], Попова Г.Я. [5-8], Цейтлина А.И. [9] и др.

На сегодняшний день расчет фундаментов мелкого заложения можно производить с помощью таких программных комплексов как Лира, SCAD, SAP 2000 и т.д. в основе которых лежит модель основания винклеровского типа. Для определения деформаций основания используют программу КРОСС. В основе лежит билинейная модель. Билинейная модель – это упругопластическая модель, которая является дальнейшим усложнением модели линейно-деформированного основания и учитывает наличие у грунта структурной прочности [10]. Программа предназначена для определения коэффициента постели. В данном случае «коэффициент постели» это отношение осадки к вызвавшей её вертикальной силе, действующей на грунт на уровне подошвы фундамента [11].

На настоящий момент в строительной практике в качестве фундаментов современных гражданских и промышленных зданий и сооружений широко используются фундаменты мелкого заложения в частности железобетонные ленточные и плитные фундаменты на анизотропных грунтах. Выбор того или иного типа фундамента определяется грунтовыми условиями и видом сооружения. Соответственно полезно познакомиться с опытом исследователей, которые предлагают применение различных типов конструкции фундаментов мелкого заложения и подтверждают возможность использовать данные фундаменты на различных грунтовых основаниях, обладающих различными анизотропными свойствами.

## 2. Обзор литературы

Значительный вклад в изучение свойств грунтов обладающих анизотропными свойствами внесли такие ученые Лехницкий С.Г., Бугров А.К., Осипов Ю.Б., Вайтекунене А.И., Соколов Б.А. и др. Ими исследовались анизотропные свойства грунтов и природа возникновения анизотропии. Лехницким были приведены и проанализированы уравнения линейной (упругой) анизотропии среды. Эти уравнения были использованы и применялись к анизотропным грунтам. В качестве модели грунтов обладающих анизотропией принимали сплошную линейно-деформируемую анизотропную среду. В этом же направлении работали Савин Г.Н., Вольф К., Буйсчан А.С.

Но надо учитывать, что анизотропия присуща не только грунтам, но и различным материалам. Такие анизотропные материалы нашли применение в мировой практике строительства гражданских и промышленных зданий. К анизотропным материалам относятся: панели, изготовленные из алюминиевых каркасов, которые заполняются композиционными углеродными материалами, углепластик, который применяется в строительстве для усиления конструкций, а так же анизотропными свойствами обладают железобетонные плиты. Железобетонные плиты бывают различной формы. Что связано с необходимостью создания наиболее рациональных конструкций фундаментов. В данном направлении работали такие ученые: Тетиора А.Н., Пилягин А.В., Мяснянкин А.В., Капустин В.В., Сорочана Е.А., Крахмальский Т.А., Грицук М.С. и др.

Рациональность конструкций можно рассматривать с экономической стороны, за счет изменения формы сечения, и со стороны рационального распределения реактивного давления. В таком случае критерием экономичности является уменьшение материалоемкости конструкции, за счет возможности изъятия бетона в тех областях сечения, где напряжения имеют минимальные значения.

### 3. Постановка задачи

Основная задача - проведение анализа имеющихся исследований и опыта строительства в области анизотропных фундаментов мелкого заложения, в том числе выделение достоинств и недостатков рациональных конструкций фундаментов и определение возможности их применения для различных грунтовых оснований, указание преимуществ использования анизотропной модели основания.

### 4. Формы анизотропии грунтов и фундаментов

Исследования в России и за рубежом еще в XX веке показали, что грунтовым основаниям строительных конструкций присущи анизотропия (неоднородность свойств по разным направлениям) [12-20]. Во многих опытах наблюдались различные показатели фильтрационных, деформационных, прочностных, и других свойств грунтов по разным направлениям [16]. Примерами анизотропных неоднородных грунтов служат ленточные глинистые отложения, лессы и лессовые грунты, торфянистые, мерзлые, солонцеватые и другие разновидности грунтов. Следует отметить, что некоторые полускальные и скальные основания являются анизотропными [14]. Анизотропия таких пород грунтов проявляется неодинаково по разным направлениям значений трещиноватости.

К анизотропным материалам можно отнести армогрунтовое основание. Еще в 1965 г. впервые метод армирования грунта обосновал и запатентовал французский инженер Видаль (патент E02 d 27/28 199790 1964г.), а так же ввел понятие нового материала – армированный грунт (армогрунт) [21, 22]. Изначально в качестве армирующего материала применялись металлические полосы и сетки [23]. Но на сегодняшний момент распространение получили геосинтетические материалы, которыми можно армировать конструкции и грунт [24]. Армированный геосинтетическими материалами грунт обладает анизотропными свойствами, которые можно регулировать, так как его анизотропия зависит от свойств грунта и от армирующей структуры [25]. К основным типам геосинтетических материалов относятся георешетки, геотекстиль, габионы и т.п. [26 - 29]. Разработаны труды по экспериментальному определению свойств грунта, армированного объемными георешетками [30, 31] и решетчатыми плитами [32, 33]. Мировой и отечественный опыт подтверждает высокую эффективность применения геосинтетических материалов в гражданском, гидротехническом, дорожном, железнодорожном строительстве и для строительства аэродромов. Это отражено в обзорной информации [34 - 37] и в статьях [38 - 48]. Главной особенностью является то, что используется традиционный материал (песок, щебень и др.).

Многие исследователи рассматривают армируемый грунт как армогрунтовую плиту [25, 29, 49]. В этой плите не происходит горизонтальных перемещений грунта от внешней нагрузки, потому что грунт ограничен размерами ячеек решетки [50]. Плиты обладают анизотропными свойствами, обычно выраженными по двум перпендикулярным направлениям. Такая анизотропия называется ортотропия, а плиты называются ортотропными. Понятие «ортотропная плита» в научных публикациях может встречаться как «ортогональная конструктивная анизотропная плита (пластина)» [51, 52]. Обычные железобетонные плиты тоже являются ортотропными, так как работают на изгиб в двух взаимно перпендикулярных направлениях [53, 54]. Это существенным образом влияет на её форму разрушения [55].

В практике строительства фундаменты мелкого заложения, лежащие на упругом основании, уделяют особое внимание исследователи в строительстве жилых и общественных малоэтажных зданий до 5-6 этажей, для которых основным типом фундаментов являются фундаменты мелкого заложения [56]. Фундаменты мелкого заложения устраиваются на естественном основании. Наиболее целесообразно их устанавливать на сильных скальных грунтах и в сейсмических районах [57 - 59]. Такие фундаменты получили широкое применение в практике гражданского, промышленного и сельскохозяйственного строительства. Один из примеров фундамента мелкого заложения является фундамент Останкинской башни [1]. Главным конструктором данного проекта башни является Никитин Н.В., который подошел новаторски к данному проекту. Использовал фундаменты мелкого заложения, хотя для таких высоких конструкций чаще всего используют фундаменты глубокого заложения. За счет сбалансированного натяжения канатов расположенных внутри башни вся конструкция работает как надежная система, которой не страшен ветер.

Отличительными особенностями при строительстве фундаментов мелкого заложения являются:

- передача нагрузки преимущественно через подошву основания, поэтому основное армирование расположено по подошве фундамента, а верхний пояс армируется конструктивно;
- отношение высоты к ширине подошвы не превышает 4:1;

- фундаменты устраивают обычно не глубже 3...4 м - глубина подвала, глубина заложения обычно более глубины промерзания грунта. Такие фундаменты возводят в открытых котлованах [60].

Одним из конструктивных типов фундаментов мелкого заложения являются плитные фундаменты. Сплошные плитные фундаменты проектируются под всем зданием каркасной, стеновой, комбинированной конструктивной системы [61]. Большую часть железобетонных ортотропных плитных фундаментов составляют полы промышленных зданий и гражданских, аэродромные и дорожные покрытия, плиты гидротехнических сооружений и т.д. Анизотропия данных плит проявляется в не равномерности армирования и в форме плиты (см. таблицу 1).

Преимущества плитных фундаментов:

- при незначительной глубине заложения уравнивают неравномерности осадки в двух направлениях;
- могут воспринимать значительные нагрузки на слабые грунты, для создания допустимого давления на грунт, в отличии от ленточных и столбчатых фундаментов;
- совмещают в одной конструкции функции пола цокольного этажа и конструкцию фундамента. В этом случае монолитные стены цокольного этажа будут опираться на плиту, что облегчит устройство надежной гидроизоляции [62, 63].

Плитные фундаменты являются универсальными, и они часто применяются на пучинистых, просадочных, слабых, насыпных грунтах, и там где грунтовые воды расположены очень высоко. Так же плитный фундамент возможно использовать в двухслойных и многослойных грунтовых основаниях [64-67]. Применяемые на пучинистых грунтах фундаменты мелкого заложения называют плавающими плитами (рисунок 1). Здесь и возможен прогиб фундамента мелкого заложения выпуклостью вверх, в результате чего появляется необходимость армировать неравномерно. Соответственно можно добавить дополнительную арматуру в верхнюю зону (рисунок 2).

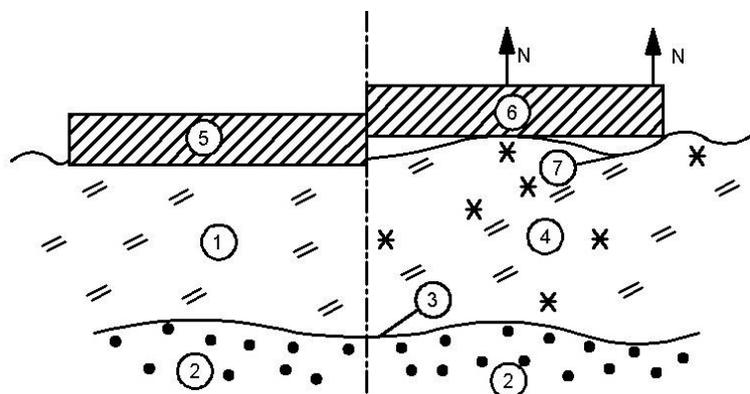


Рисунок 1. Плавающий фундамент мелкого заложения в виде бетонной плиты

1 — не вспученный грунт, 2 — грунт, расположенный ниже уровня промерзания, 3 — уровень (глубина) промерзания, 4 — вспученный грунт, 5 — фундаментная плита на не вспученном грунте, 6 — фундаментная плита, приподнятая вспученным грунтом, 7 - рельеф поверхности смерзшегося грунта, N — силы, ломающие плиту в местах возвышающихся неровностей смерзшегося грунта.

Плита прогибается выпуклостью вверх.

На просадочных грунтах (например, анизотропные – лессовые грунты) при осадке под плитой при действие равномерно распределенной нагрузки по всей длине, будет прогибаться, как правило, выпуклостью вниз. Согласно этому можно добавить дополнительную арматуру в нижнюю зону (рисунок 3).

В экспериментах Ледяевым С.В. была обоснована физическая возможность использования фундаментов мелкого заложения преимущественно плитного монолитного фундамента на неоднородных грунтовых напластованиях с верхним несущим слоем и с промежуточным слабым слоем суглинистых или песчаных илов [65, 66]. Такие промежуточные слои обычно водонасыщенные, но находятся в самообжатом состоянии, поэтому они практически несжимаемы [67, 68]. Ледяевым разработаны практические рекомендации по использованию фундаментов мелкого заложения в многослойных

грунтовых основаниях [65]. Преимуществом фундаментов мелкого заложения по сравнению с фундаментами глубокого заложения в таком случае является экономия материала и меньшая трудоемкость, что приводит к уменьшению затрат.

Помимо этого установка фундаментов мелкого заложения в некоторых случаях более целесообразна, чем свайных фундаментов. Это связано с грунтами, которые залегают в основании под зданием. В некоторых случаях встречается, что в основании залегают несколько слоев грунта, где верхний слой представляет собой пластичную супесь (полутвердую), а на глубине 3 м находятся пливуны – пески пылеватые, насыщенные водой, а плотный грунт – супесь твердая пылеватая расположен на глубине 14 м. Тогда при заглублении свай на глубину 14 м, произойдет вскрытие водоносного слоя, что может привести к суффозии. В таком случае это не является правильным с технологической точки зрения и не является экономически целесообразным. Поэтому при данных геологических условиях более целесообразно строить на фундаментах мелкого заложения. Чаще всего фундаменты мелкого заложения располагают под здания до пяти этажей. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет здание Гидрокорпус 2 является примером постройки на фундаменте мелкого заложения, которое стоит на слабых водонасыщенных грунтах. Под него установлен ленточный фундамент мелкого заложения. Здание построено на так называемом «размыве», хотя на сегодняшний день никаким размывом не является, а подземной реки, которая была миллионы лет назад, там уже нет. Древнее русло заполнено очень плотными водонасыщенными песками, которые превратились в пливун. Под зданием такой пласт находится на глубине, вода в порах пливуна находится под давлением больше атмосферного. При вскрытии верхних слоев пласт обнажается, и вода под давлением попадает в котлован и выносит с собой песок.

Одним из примеров вскрытия такого пласта служит образованный Ольгинский пруд, причиной его образования является вскрытый верхний слой в ранее образованном песчаном карьере. К сожалению вскрытый водоносный слой плачевно влияет на дальнейшую эксплуатацию сооружений. Примером может служить тоннель между станциями метро «Лесной» и «Площадь Мужества», которые были построены ранее. Данные станции метро были глубоко заложены, что был пробит водоносный горизонт, это привело к возникновению размыва. И из-за этого движение поездов между этими станциями по первой линии метро было прервано в 1994–2005 годах. Чтобы его восстановить, пришлось строить новые тоннели.

На сегодняшний день перед инженерами стоят вопросы, связанные со сложностью инженерно-геологических условий строительной площадки, значительным увеличением нагрузок на фундаменты, что является следствием увеличения этажности современных зданий и сооружений. Для решения таких задач требуется полный учет свойств грунтов оснований, а также выбор и разработка рациональных конструкций фундаментов.

Максимально учесть свойства грунта при расчете возможно, выбрав наиболее подходящую модель основания. Согласно СНиП 2.02.01-83\* осадка  $S_u = 8$  см для ленточного фундамента на песчаном основании, рассчитанная по изотропной модели, достигается при давлении  $q=p=0,29$  Мпа, а при учете анизотропии песка достигается при  $q=0,38$  Мпа. Следовательно, анизотропная модель дает возможность увеличить на 30% расчетное давление на фундамент, при этом сохранив прежние размеры фундамент. Соответственно появляется реальная возможность увеличить нагрузки без усиления основания и фундамента. Подобное увеличение расчетной несущей способности основания особенно важно для реконструируемых зданий и сооружений. Для суглинистого грунта согласно изотропной модели предельное значение осадки достигается при давлении 0,48 Мпа, что на 15 % больше при анизотропной модели [16]. Из этого следует, что применение изотропной модели для таких грунтов при проектировании оснований и при расчете их по предельным деформациям может привести к превышению допустимых значений деформации для надфундаментной конструкции, что ведет к возникновению повреждений. Таким образом, наряду с необходимостью определения напряженно-деформированного состояния конструкций фундамента, необходимым является изучение свойств грунтов, которые входят в расчетные параметры задач несущих конструкций. Соответственно необходимо определить прочность грунтового основания. Достоверность данных повыситься, если учесть анизотропные деформационные и прочностные свойства грунтового основания и распределение напряжения по подошве опирания плиты на анизотропное основание. Для равномерного распределения напряжения по подошве фундамента были предложены рациональные конструкции плит, в которых анизотропия проявляется в форме плиты, в армирование или комбинированно оба варианта (табл.1).

Вопросом разработки рациональных конструкций фундаментных плит посвящены работы Тетиора А.Н. [1,69-71], Пилягина А.В. [72], Капустина В.В. [73,74], Сорочана Е.А. [82,83], Крахмального Т.А. [84], Грицук М.С. [85-93] и др.[75, 95].

Фундаментные плиты в плане и в сечение могут иметь традиционную прямоугольную или квадратную форму или не традиционную круглую или кольцевую. Изначально под сооружения башенного типа такие, как дымовые, вентиляционные трубы, телевизионные, водонапорные башни и другие конструкции небольшой высоты устанавливали круглые плитные фундаменты. В результате сравнительного анализа круглой и кольцевой формы наиболее рациональной является кольцевая форма, при которой происходит более равномерное распределение напряжения и контактных давлений [69]. Пилягиным А.В., Капустиным В.В., Рыбиным В.С., и др. были составлены различные рекомендации на расчет и проектирование кольцевых фундаментов [72-80, 95].

Широкое распространение получили и другие типы фундаментов мелкого заложения, а именно ленточные фундаменты, за счет простоты и быстроты установки. Ленточные фундаменты располагаются по периметру строения, а не под всем зданием. За счет этого производится экономия арматуры и бетона по сравнению со сплошным плитным фундаментом. Ленточным фундаментом считается такой фундамент, соотношение длины к ширине плиты которого больше или равно десяти [94]. Соответственно плиту монолитного ленточного фундамента можно представить как бесконечную железобетонную плиту. Ленточные фундаменты могут быть жесткими, в верхней части которых не возникает растягивающих напряжений, и гибкими, в плитной части которых возникают деформации изгиба, что требует применения арматуры [82].

Исследованием различных видов конструкций ленточных фундаментов занимался Сорочан Е.А.. Им были исследованы работы прерывистых ленточных фундаментов, плит с угловыми вырезами, шпальных фундаментов. Целесообразность устройства сборных ленточных прерывистых фундаментов определяется тем, что за счет укладки отдельных сборных железобетонных плит с разрывами между их торцами достигается более полное использование несущей способности как материала плит, так и грунта основания. Согласно этому можно сократить необходимое количество типоразмеров фундаментных плит [81, 82]. Но минусом данных фундаментов является то что они не применяются в сейсмических районах и, так как возможно вымывание грунта между плитами, не применяется в просадочных грунтах [96]. Ленточный фундамент из сборных фундаментных плит с угловыми вырезами, является одним из наиболее оптимальных по форме их подошвы. Грунт в зоне вырезов таких фундаментов участвует в работе и расчет производится по площади внешних размеров без учета вырезов. Данные фундаменты в плане имеют крестообразную форму, за счет чего происходит снижение площади подошвы фундамента, соответственно снижается расход бетона и арматурной стали, уменьшаются максимальные изгибающие моменты, но расчетные краевые давления на грунт повышаются, и установка опалубки является более трудоемкой по сравнению с опалубкой для прямоугольной подошвы фундамента (рисунок 4). Такой фундамент устраивается на плотных песчаных и глинистых грунтах с показателем текучести меньше 0,25. Шпальные фундаменты состоят из блоков-подушек с более глубокими вырезами или четко выраженной прямоугольной формы и распределительных по ним балок или блоков. Область рационального применения таких фундаментов по существу та же, что и ленточных фундаментов из блоков с угловыми вырезами.

Так же исследованием рациональных конструкций ленточного фундамента занимался Крахмальный Т.А. В своей диссертационной работе им была рассмотрена работа песчаного основания сборных ленточных фундаментов мелкого заложения с ломаными очертанием краевой зоны [84] (Табл. 1). Он исследовал несущую способность основания ленточных фундаментов при различной конфигурации формы подошвы. Помимо моделей металлических штампов он проводил опыты на железобетонных моделях ленточных фундаментов. В результате этих опытов определил влияние поворота подушек железобетонных блоков на угол  $45^\circ$  относительно продольной оси фундамента на несущую способность песчаного основания. Сборные ленточные фундаменты с углом поворота  $45^\circ$  можно устанавливать в сейсмически опасных районах, но запрещается применение такого фундамента с раздвижкой и на размытых песках, так как может произойти вымывание песчаного основания через зазоры.

Существуют различные методы расчета и расчетные схемы плит ленточных фундаментов. Иногда они не соответствуют фактическому состоянию, так как грунтовым основаниям характерна анизотропия. Часто это приводит к перенапряжению в расчетных сечениях конструкций фундаментов и неравномерности их осадок. Как известно, осадка фундамента зависит не только от площади фундамента, но и от его формы. Следовательно, необходимо выбрать фундамент такой формы, осадка которой будет минимальной. Неравномерность осадок здания уменьшает его прочность и долговечность, а так же может привести к аварийному состоянию. Поэтому есть необходимость в исследовании и разработке более рациональных конструкций плит сборных ленточных фундаментов на анизотропных основаниях, что даст возможность сделать проектные решения более экономичными и надежными.

На сегодняшний день еще одним наиболее перспективным решением в конструкции ленточного фундамента является применение железобетонных плит с выпуклой поверхностью опирания, которую

предложил Грицук М.С. (таблица 1). Принцип данного исследования в том, что при выпуклой поверхности опирания распределяются реактивные напряжения по ширине подошвы с максимальными значениями в центре сечения плиты и минимальными по ее краям. При этом напряженно-деформированное состояние грунтового основания под плитами с выпуклой подошвой кардинально отличается от напряженно-деформированного состояния под плитами с плоской подошвой [85, 93]. В его работе криволинейная поверхность основания была заменена призматической. В результате осадка края штампа равна осадке незагруженной поверхности основания и, соответственно, реактивное давление в крайних точках равно нулю, а в местах перегиба подошвы штампа достигает максимального значения. Так же Грицук М.С. предложил программу расчета ленточного фундамента с выпуклой поверхностью опирания на неоднородных ортотропных грунтовых основаниях. Помимо призматической поверхности опирания к выпуклой поверхности опирания можно отнести ленточный фундамент из трапецеидальных блоков. Минусом плит с выпуклым основанием, а в частности фундаментов с призматической поверхности опирания является трудоёмкость их устройства. Возможно предположить, что данные фундаменты можно устанавливать с помощью катков с формообразовательным профилем для выпуклой подошвы фундамента или устанавливать специальную подготовку под фундамент.

Таблица 1. Проявление анизотропии

Проявление анизотропии в:	Типы фундаментов мелкого заложения	
Характере армирования (зависит от грунтовых условий) проявляется в неравномерности армирования верхней и нижней зоны		
Форме плиты:	Форма в плане ( плоская подошва)	Форма подошвы (выпуклая форма подошвы)
	<p>Фундаменты рациональной формы и конструкции: а) с угловыми вырезами; б) шпальные. 1- стеновые блоки; 2- угловые вырезы; 3- железобетонные плиты-подушки с угловыми вырезами.</p> <p>Постановка железобетонных моделей блока-подушек в лотке: а) размер блока; б) линейная постановка; в) постановка с поворотом. Модели предложенные Крахмальным Т.А.</p>	<p>Эпюра контактных напряжений а) с плоской; б) с криволинейной подошвой.</p>
Комбинированная (проявляется в характере армирования и в форме плиты)	Выше приведенные фундаменты по форме плиты в плане как с плоской так и с выпуклой подошвой опирания и возводимые на анизотропных грунтах, при которых необходимо неравномерное армирование.	

## Выводы

В результате проведенного анализа различных типов конструкции анизотропных фундаментов мелкого заложения, применяемых на различных грунтовых основаниях, можно сделать выводы:

1. В качестве модели основания необходимо использовать анизотропную модель основания, так как если использовать изотропную модель и проектировать по предельным деформациям, то это может привести к превышению допустимых значений деформации для надфундаментной конструкции, что может создать препятствие для нормальной эксплуатации зданий и сооружений. Следовательно, при расчете таких конструкций необходимо учитывать анизотропные свойства основания.

2. По результатам рассмотренных рациональных конструкций плит, выявлена анизотропия, которая проявляется в форме подошвы плиты. Преимуществами данных конструкций является равномерное распределение контактных напряжений по подошве плиты. Недостатком является трудоемкость в установке опалубки сложной в плане и профиле формы. Соответственно разработка технологий возведения фундаментов с выпуклой подошвой опирания может в дальнейшем предлагаться, как отдельное направление исследования.

3. Рекомендуются для конструирования плиты применять плоскую подошву, но при этом в зависимости от видов анизотропии грунтов основания разработать способ армирования фундаментной плиты различными по месту расположения в плите арматурными каркасами, согласно анизотропии грунтов, чтобы неравномерность контактных напряжений под плитами компенсировалась неравномерностью армирования самой плиты.

4. Совершенствование методов решения контактной задачи, взаимодействия сооружения с основанием, при учете анизотропии основания и плиты позволит снизить трудозатраты, материалоемкость сооружения фундаментов и повысить надежность конструкции.

## Литература

1. Тетиор А.Н. Фундаменты. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 400 с.
2. Winkler E. Die Lehre von der Elasticitat und Festigkeit. Praha: 1967. 338 p.
3. Жемочкин Б.Н., Синицин А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1962. 2-е изд. 239 с.
4. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1984. 678 с.
5. Попов Г.Я. К теории изгиба плит на линейно-деформируемом основании // Исследования по теории сооружений. 1974. № 20. С. 121-129.
6. Попов Г.Я. Изгиб полубесконечной плиты на упругом полупространстве // Научные доклады высшей школы. Строительство. 1958. №4. С. 19-25.
7. Попов Г.Я. Изгиб полубесконечной плиты лежащей на линейно-деформируемом основании. ПММ, 1961. Том. 25, вып. 2. С. 342-355.
8. Попов Г.Я. Пластинка на линейно-деформируемом основании. Обзор // Прикладная механика и математика. 1972. №8. С. 3-17.
9. Цейтлин А.И. Метод дельта-преобразований и его связь с другими методами строительной механики // Строительная механика и расчет сооружений. 1980. №3. С. 14-19.
10. Федоровский В.Г., Безволев С.Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. №4. С. 276-284.
11. Ватин Н.И., Мойся А.А. Методические указания «Современный расчет здания и фундамента мелкого заложения в SCAD». Санкт-Петербург, 2007. 7 с.
12. Дюсембаев И.Н. Изгиб рядом лежащих прямоугольных плит и полос на линейно-деформируемом основании. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец.:05.23.17. Москва, 1990. 182 с.
13. Дюсембаев И.Н. Взаимодействие конструкций с анизотропным грунтовым основанием (статическое состояние). Алматы, 2002. 170 с.
14. Филимонов В.А. Исследование анизотропных прочностных свойств намывных грунтов и золы // Известия ВНИИГ. 1974. № 106. С. 286-380.

15. Соколов Б.А. Анизотропия глинистых грунтов со слоистой текстурой и ориентированной микроструктурой // Грунтоведение и инженерная геология. М.: Издательство МГУ. 1977. С. 17-22.
16. Бугров А.К., Голубев А.И. Анизотропные грунты и основания сооружений. СПб.: Изд-во Недр, 1993. 245 с.
17. Осипов Ю.Б., Вайтекунене А.И. Анизотропия механических свойств глинистых грунтов // Инженерная геология. 1979. №4. С. 106-112.
18. Oda M., Koishikawa I. Anisotropic fabric of sand // Proc. Of the IXth ICSMFE. Tokyo, 1977. Vol.1. Pp. 235-238.
19. Lo K. Y., Miligan V. Shear strength properties of two stratified clays // J. Soil Mech. And Found. Div. Proc. ASCE. 1967. Vol.93. Pp. 1-15.
20. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977. 367 с.
21. Vidal H. The Principal of Reinforced Earth. Highway Research. 1969, № 282. Pp. 1-16.
22. Vidal H. Reinforced Earth 1972 // Annales de L'Institut du Bâtiment et de Travaux Publics. Supplement. 1972. № 299, November. Pp. 18-28.
23. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта. М.: Стройиздат, 1989. 281 с.
24. Львович Ю.М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. М.: Информавтодор, 2002. 74 с.
25. Матвеев С.А. Моделирование и расчет армированных многослойных плит на грунтовом основании. Дисс. на соиск. учен. степ. д.т.н: Спец.05.23.17. Новосибирск, 2006. 391 с.
26. Тяпочкин А.В. Совершенствование конструктивно-технологических решений армогрунтовых насыпей с подпорными стенами. Дисс. на к.т.н: 05.23.11. М.: ЦНИИС, 2011. 205 с.
27. Haza E., Gotteland Ph., Gourc J.P. Design method for local load on a Geosynthetic reinforced soil structure // Geotechnical and Geological Engineering. 2000. Vol. 18. №4. Pp. 243-267.
28. Курейна Л.В. Полипропиленовый геотекстильный материал // Применение геосинтетических и геопластиковых материалов при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог. Тр. Союздорнии. 2001. Вып. 201. С. 143 -144.
29. Матвеев С.А., Немировский Ю.В. Расчет многослойных дорожных плит, армированных плоскими георешетками // Образование, наука и техника: XXI век. Ханты-Мансийск: Изд-во Югор. гос. ун-та. 2004. Вып. 2. С. 107-111.
30. Матвеев С.А., Немировский Ю.В. Свойства упругого слоя основания дорожной одежды, армированного объемной георешеткой // Наука и техника в дорожной отрасли. 2005. № 2. С. 24-28.
31. Тимофеева Л.М. Исследование работы армирующей текстильной прослойки в грунтовом массиве // Синтетические текстильные материалы в конструкциях автомобильных дорог Тр. Союздорнии. 1983. С. 38-44.
32. Медников И.А., Матвеев С.А. Потенциальная энергия плиты при изгибе от силового и температурного воздействия // Строительная механика и расчет автодорожных конструкций: Сб. науч. трудов. 1980. С. 22-26.
33. Немировский Ю.В., Матвеев С.А. Построение расчетной модели грунта, армированного объемной георешеткой // Изв. вузов. Строительство. 2002. № 9. С. 95 - 101.
34. Казарновский В.Д., Мерзликин А.Е., Гладков В.Ю. К оценке области рационального применения армирующих сеток в дорожных одеждах нежесткого типа // Повышение долговечности дорожных конструкций. Тр. Союздорнии. 1986. С. 68-75.
35. Ким А.И., Кондаков Е.И. Применение георешеток в дорожном строительстве // Применение геосинтетики и геопластиков при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Тр. Союздорнии. 1998, №196. С. 115-120.
36. Капустин В.Л. Основные тенденции использования геосеток в России и за рубежом // Применение геосинтетики и геопластиков при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Тр. Союздорнии. 1998. №. 196. С. 101-103.
37. Львович Ю.М., Аливер Ю.А., Ким А.И. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве // Автомобильные дороги: обзорная информация. М.: Информавтодор. 1998. Вып. 5. С 77.

38. Yin J.H. Comparative modeling study on reinforced beam on elastic foundation // ASCE Journ. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2000. Vol. 126. № 3. Pp. 265-271.
39. Yin J.H. Modelling geosynthetic reinforced granular fills over soft soil // Geosynth. Intern. 1997. Vol. 4. № 2. Pp. 165-185.
40. Zhan C., Yin J.H. Elastic analysis of soil geosynthetic interaction // Geosynth. Intern. 2001. Vol. 8, № 1. P. 27-48.
41. Shukla S.K. Shallow foundations in geosynthetics and their applications. Editor Thomas Telford, London. 2002. Pp. 123-163.
42. Shukla S.K., Chandra S.A generalized mechanical model for geosynthetic-reinforced foundation soil // Geotextiles and Geomembranes. 1994. Vol. 13. Pp. 813-825.
43. Cancelli P., Recalcati P., Doh S.R. Reducing differential settlements under a road embankment in Korea by use of geosynthetics: a finite elements analysis // Tenax geosynthetics: Technical document. 2000. 6 p.
44. Douglas R.A. Modeling geotextile behaviour in thin access road fills over peat subgrades // Proc. 40th Canadian Geotechn. Conf., Regina. 1987. Pp. 143-146.
45. Maheshwari P., Chandra S., Basudhar P. K. Modelling of beams on geosynthetic-reinforced granular fill-soft soil system subjected to moving loads // Geosynthetics Intern. 2004. Vol. 11. № 5. Pp. 369-376.
46. Щербина Е.В. Геосинтетические материалы: классификация, термины, определения // Геотекстиль и геосинтетика при строительстве автомобильных дорог: Тез. докл. Междунар. семинара, 14-15 ноября 2001г. М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2001. С. 20 - 24.
47. Koerner R.M. Emerging and future developments of selected geosynthetic applications // Journ. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering // Transact. of American Soc. of Civil Engineers. 2000. Vol. 126, №4. Pp. 293-306.
48. Баданин А.Н., Колосов Е.С. Определение несущей способности армированного георешеткой грунтового основания // Инженерно-строительный журнал. 2012. №4. С. 25-64.
49. Абу Халифа Абдуль Салям Мустафа. Устройство искусственно улучшенных оснований в слабых грунтах путем фиброармирования. автореф. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец.: 05.23.02. СПб., 1992. 135 с.
50. Binquet J., Lee K.L. Bearing capacity tests on Reinforced Earth Slabs // J. Geot. Engng. Proc. ASCE. 1975. №101. Pp. 55-76.
51. Алхимова Н. В. Конструкция с ортотропной плитой // Ежемесячный информационно аналитический журнал "Автомобильные дороги". 2011. № 9 (958). С 9-12.
52. Лехницкий С.Г. Анизотропные пластинки. М.: Наука, 1977. 367 с.
53. Берлинов М.В. Основания и фундаменты. М.: Высш. шк., 1999. 319 с.
54. Носиков, А.И. Влияние ортотропии и неоднородности на напряженно-деформированное состояние оснований и конструкций. Дис на соиск. учен. степ. к.т.н.: Спец. 05.23.17. СПб. 2000. 144 с.
55. Кобейси Абдул Менхем Ахмад. Влияние ортотропии армирования на форму разрушения железобетонных плит // Автореферат на к.т.н. Ленинград: Изд-во ЛГТУ. 1990. 22 с.
56. Крутов В.И. Сорочан Е.А. Ковалев В.А. Фундаменты мелкого заложения. М.: Изд-во АВС, 2009. 232 с.
57. Geotechnical Engineering Office. Foundation design and construction. Hong Kong: GEO Publication. № 1. 2006. 376 p.
58. СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах.
59. Ставницер Л.Р. Сейсмостойкость оснований и фундаментов. Монография. издатель: "Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)", 2010. С. 448.
60. Далматов Б.И., Бронин В.Н., Карлов В.Д., Мангушев Р.А. и др. Основания и фундаменты. Ч. 2. Основы геотехники: М.: Изд-во АСВ, 2002. 392 с.
61. Пономарев В.А. Архитектурное конструирование. М.: "Архитектура – С", 2008. 738 с.
62. Далматова Б.И. Проектирование фундаментов зданий и промышленных сооружений. М.: «Высш. школа», 1969. 296 с.
63. Bill Eich Frost-protected shallow foundations. JLC. SEPTEMBER 1996.

64. Сиразиев Л.Ф., Богданов Р.Р. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния двухслойного грунтового основания плитного фундамента при жестком подстилающем сло. Казань: Известия КГАСУ. 2012. № 1 (19). С. 67-73.
65. Ледяев С.В. Неоднородные грунтовые напластования с промежуточным слабым слоем как основания фундаментов мелкого заложения. Дисс. на сосик. учен. степ. к.т.н. СПб., 1992. 178 с.
66. Ледяев С.В. Опыт использования плитного фундамента при строительстве гражданского здания на слабых грунтах. // Монтажные и специальные строительные работы. Вып.2. М.: ПКТИ "СпецстроП-проект". 1991. С. 1-7.
67. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). М.: Высшая школа, 2011. 272 с.
68. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). Лань: 2012. 415 с.
69. Тетиор А.Н. Прогрессивные конструкции фундаментов для условий Урала и Тюменской области. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1971. 176 с.
70. Тетиор А.Н., Родин С.В. Испытание ленточных фундаментов при хрупком разрушении // Центр, ин-т науч. информ. по стр-ву и архитектуре. 1978. № 9. С. 44.
71. Тетиор А.Н. Об устойчивости основания под фундаментами с криволинейной формой подошвы. // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 1969. № 5. С. 14.
72. Пилягин А.В. Проектирование фундаментов кольцевой формы. СПб: ОФМГ. 2006. №1. С 14-15.
73. Капустин В.В. Методика расчёта кренов фундаментов с кольцевой формой подошвы во времени. // Мосты и тоннели: теория, исследования, практика: междунар. науч.-практ. конф., 11-12 октября 2007.: тезисы докл. Днепрпетровск, 2007. С.128-129.
74. Капустин В.В., Шаповал В.Г., Ильев И.М. Закономерности развития во времени кренов внецентренно нагруженных фундаментов с кольцевой формой подошвы на обладающем свойством ползучести основании. // Сборник научных трудов Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка. Вып. 19. Полтава: 2007. С. 53-58.
75. Рыбин В.С. Рыбина Л.В. Определение оптимальной формы и размеров подошвы внецентренно нагруженных фундаментов мелкого заложения. СПб: ОФМГ. 2012. №1. С. 6-9.
76. Бугров А.К. Фундаменты основных зданий и сооружений атомных и тепловых электростанций. Л.: ЛГТУ, 1991, 88 с.
77. Рекомендации по расчету оснований кольцевых фундаментов дымовых труб. М.: НИИ оснований, 1976. 55 с.
78. Худяков А.В. Экспериментальные исследования перемещений и несущей способности кольцевых фундаментов при действии плоской системы сил. Дисс. на сосик. учен. степ. к.т.н.: Спец.: 05.23.02. Волгоград, 2003, 177с.
79. Balazsy B. Melypitéstudományi Szemle, 1967. № 8. Pp. 260–265.
80. Golder H.Q. State-of-the-art of floating foundations // Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1965. vol 92. № 3.
81. Сорочан Е.А. Фундаменты промышленных зданий. М.: Стройиздат, 1986. 303 с.
82. Сорочана Е.А. и Трофименкова Ю.Г. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Справочник проектировщика. Под общей редакцией д.т.н., проф. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.
83. Сорочан Е.А. Вопросы совершенствования фундаментов на естественном основании // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1977. № 5. С. 9-12.
84. Крахмальний Т.А. Исследования работы песчаного основания ленточного фундамента с ломаным очертанием опорной плиты. Дисс. на сосик. учен. степ. к.т.н.: Спец. 05.23.02. СПб, 2010. 207 с.
85. Грицук М.С. Рациональные конструкции плит для ленточных фундаментов. Основания и фундаменты. Дисс на сосик. учен. степ. д.т.н.: Спец. 05.23.02. Брестский политехнический институт. Брест, 1998. 283 с.
86. Грицук М.С., Hulboj Ryszard, Грицук А.М. Рациональные расчетные схемы грунтовых оснований для устройства сборных и монолитных ленточных фундаментов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. №4(33). С. 138-142.
87. Грицук М.С. Рациональные конструкции плитных фундаментов. Брест: БПИ, 1997. 218 с.

88. Грицук М.С. Рациональные конструкции фундаментов шириной более 3,2 м // Тез. докл. XXI науч.-техн. конф. по проблеме «Наука и мир»: в 3 ч. Брест, 1995. Часть 3. С. 72-74.
89. Грицук М.С., Игнатюк В.Ю. Разработка и применение экономичных конструкций плит для ленточных фундаментов // Тез. докл. межвуз. конф., Брест, 5-6 янв. 1989 г. С. 43-45.
90. Грицук М.С., Игнатюк В.Ю. Исследование совместной работы упругого основания и фундаментных плит с криволинейной поверхностью опирания // Сельское строительство Белоруссии. Минск: 1982. № 1. С. 20-22.
91. Грицук М.С., Игнатюк В.Ю., Тарасевич А.Н. Рациональные конструкции ленточных фундаментов с выпуклой подошвой // Межотр. территор. центр науч.-техн. информ. Брест, 1986. 4 с.
92. Грицук М.С. Конструкции плитных ленточных фундаментов на слабых основаниях // Строительство зданий на крутых склонах и откосах: Тез. докл. республ. конф., Севастополь, 26-27 марта 1989. С. 24-25.
93. Грицук М.С., Даркович С.С. Действие жесткого штампа с выпуклой поверхностью опирания на грунтовое основание // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 1980. № 6. С. 17-20.
94. Naresh C. Samtani, PE, PhD and Edward A. Nowatzki, P E, PhD Soils and foundations // Reference Manual-volume II. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Publication № FHWA NHI-06-089. December 2006. 594 p.
95. Евтушенко С.И. Разработка методов расчета и принципов конструирования сборных плитных фундаментов и подпорных стен и их экспериментальное обоснование. Дисс. на соиск учен. степ. д.т.н.: 05.23.02. Новочеркасск, 2011. 319 с.
96. Мяснянкин А.В., Мяснянкин А.А. Перспективные конструкции зданий и сооружений. Справочное пособие. М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2013. 144 с.

## Anisotropic shallow foundation

A.N. Badanin<sup>1</sup>, Yu.K. Demchenko<sup>2</sup>

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.*

---

### ARTICLE INFO

### Article history

Received 30 October 2013  
Received in revised form 21 March  
2014  
Accepted 28 March 2014

### Keywords

shallow foundation;  
slabby foundations;  
band foundations;  
anisotropy;  
rational constructions of  
foundations.;

---

### ABSTRACT

An article is considered the carrying out of the comparative analysis of works connected with soils and construction of the foundations, as anisotropic bodies. In addition, it is given the comparison of rational construction of shallow foundations, in particular forms of the foot of plates of the band foundations and their forms in the plan. Anisotropy of soils is expressed in nonuniformity of bedding (a lens, inclusion, etc.). In plates, anisotropy is shown in the form of a plate or in nature of reinforcing, or at the same times both options of anisotropy.

---

<sup>1</sup> *Corresponding author:*  
+7 (921) 659 9876, chinnab@mail.ru (Andrey Nikolayevich Badanin, Ph. D., Associate Professor)  
<sup>2</sup> +7 (952) 371 3922, jdkgerl@mail.ru (Yulia Kazhimuratovna Demchenko, Graduate Student)

## References

1. Tetior A.N. *Fundamenty*. [Foundations]. M.: «Akademy» publishing center, 2010. 400 p. (rus)
2. Winkler E. Die Lerne von der Elasticitat und Festigkeit. Praha. 1967. 338 p.
3. Zhemochkin B.N., Sinitsin A.P. *Prakticheskie metody rascheta fundamentnykh balok i plit na uprugom osnovanii*. [Practical methods for calculating the foundation beams and plates on elastic base]. M.: Gos-stroyizdat, 1962. 2-d edition. 1962. 239 p. (rus)
4. Gorbunov-Posadov M.I., Malikov T.A., Solomin V.I. *Raschet konstruksiy na uprugom osnovanii*. [Calculation of structures on elastic foundation.] M.: Stroyizdat, 1984. 678 p. (rus)
5. Popov G.Ya. *K teorii izgiba plit na lineyno-deformiruемом osnovanii* [On the theory of bending of plates on a linearly deformable foundation] *Issledovaniya po teorii sooruzheniy*. M., 1974. Issue 20. Pp.121-12. (rus)
6. Popov G.Ya. *Izgib polubeskonechnoy plity na uprugom poluprostranstve* [Bending the semi-infinite plate on an elastic half-space] *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Stroitelstvo*. M., 1958. №4. Pp. 19-25. (rus)
7. Popov G.Ya. *Izgib polubeskonechnoy plity lezhashchey na lineyno-deformiruемом osnovanii* [Bending the semi-infinite plate lying on a linearly deformable base]. *PMM*, 1961, vol. 25, issue 2. Pp. 342-355. (rus)
8. Popov G.Ya. *Plastinka na lineyno-deformiruемом osnovanii. Obzor* [The plate on a linearly deformable base.] *Prikladnaya mekhanika i matematika*. 1972. №8. issue 3. Pp.3-17. (rus)
9. Tseytlin A.I. *Metod delta-preobrazovaniy i ego svyaz s drugimi metodami stroitelnoy mekhaniki*. [Metod delta change and its link to other methods of structural mechanics] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 1980. №3. Pp.14-19. (rus)
10. Fedorovsky V. G., Bezvolev S.G. *Prognoz osadok fundamentov melkogo zalozheniya i vybor modeli osnovaniya dlya rascheta plit* [Forecast deposit of the bases of a small zalozheniya and choice of model of basis for calculation of plates] *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 2000. №4. Pp. 276-284. (rus)
11. Vatin N. I., Moysya A.A. Moysya *Metodicheskie ukazaniya "Covremeniy raschet zdaniya i fundamenta melkogo zalozheniya v SCAD"* [Methodical instructions "Sovremeny calculation of the building and the base of a small zalozheniya in SCAD"]. St. Petersburg, 2007. 7 p.
12. Dyusembayev I.N. *Izgib rjodom lezhashhih prjamougol'nyh plit i polos na linejno-deformiruемом osnovanii*. [Bend a number of lying rectangular plates and strips on linearly - the deformable basis] *The thesis of candidate of technical sciences*. Moscow: 1990. 182 p.
13. Dyusembayev I.N. *Vzaimodeystvie konstruksiy s anizotropnym gruntovym osnovaniem (staticheskoe sostoyanie)*. [The interaction of structures with anisotropic basis of soil]. *Almaty*, 2002. 170 p. (kaz)
14. Filimonov V.A. *Issledovanie anizotropnykh prochnostnykh svoystv namyvnykh gruntov i zoly*. [Research of anisotropic mechanical properties of alluvial soil and ash]. *Izvestiya VNIIG*. 1974. Vol. 106, Pp. 286-380. (rus)
15. Sokolov B.A. *Anizotropiya glinistykh gruntov so sloistoy teksturoy i orientirovannoy mikrostrukturoy*. [The anisotropy of clay soils with a layered texture and microstructure oriented]. *Gruntovedenie i inzhernaya geologiya*. M.: MGU publishing, 1977. Pp. 17-22. (rus)
16. Bugrov A.K., Golubev A.I. *Anizotropnye grunty i osnovaniya sooruzheniy*. [Anisotropic soils and foundation structures.] SPb.: Nedra publishing, 1993. 245 p. (rus)
17. Osipov Yu.B., Vaytekunene A.I. *Anizotropiya mekhanicheskikh svoystv glinistykh gruntov*. [The anisotropy of mechanical properties of clay soils.] *Inzhernaya geologiya*. 1979. №4. Pp. 106-112. (rus)
18. Oda M., Koishikawa I. Anisotropic fabric of sand // Proc. Of the IXth ICSMFE.-Tokyo, 1977.v.1, p.235-238.
19. Lo K.Y. Miligan V. Shear strength properties of two stratified clays // J. Soil Mech. And Found. Div. Proc. ASCE. 1967. v.93, SM1, Pp. 1-15.
20. Lekhnitskiy S.G. *Teoriya uprugosti anizotropnogo tela*. [Theory of elasticity of an anisotropic body]. M.: Nauka, 1977. 367 p. (rus)
21. Vidal H. The Principal of Reinforced Earth. Highway Research. 1969. № 282. Pp.1-16.
22. Vidal H. Reinforced Earth 1972 // Annales de L'Institut du Bâtiment et de Travaux Publics. Supplement. 1972. № 299, November. Pp. 18-28.
23. Dzheun K.D. *Sooruzheniya iz armirovannogo grunta* [Construction from the reinforced soil]. Moscow: Stroyizdat, 1989. 281 p.(rus)
24. Lvovovich Yu.M. *Geosinteticheskiye i geoplastikovyye materialy v dorozhnom stroitelstve* [Geosynthetics and geoplastics materials in road construction]. Moscow: Informavtodor, 2002. 74 p. (rus)

25. Matveev S.A. *Modelirovanie i raschet armirovannykh mnogosloynnykh plit na gruntovom osnovanii*. [Modeling and calculation of reinforced composite panels on grade foundation]. Diss. of PhD: 05.23.17. Novosibirsk, 2006. 391 p. (rus)
26. Tyapochkin A. V. *Sovershenstvovaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy armogruntovykh nasypey s podpornymi stenami* [Improvement of structural and technological solutions of reinforced soil mounds with retaining walls]. *The thesis of candidate of technical sciences*. Moscow: TsNIIS, 2011. 163 p. (rus)
27. Haza E., Gotteland Ph., Gourc J.P. Design method for local load on a Geosynthetic reinforced soil structure. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2000. T. 18. №4. Pp. 243-267.
28. Kureina L.V. *Polipropilenovyy geotekstilnyy material* [Polypropylene geotextile material] *Primenenie geosinteticheskikh i geoplastikovykh materialov pri stroitelstve, rekonstruktsii i remonte avtomobilnykh dorog*. Tr. Soyuzdornii. 2001. Issue 201. Pp. 143 -144. (rus)
29. Matveev S.A., Nemirovskiy Yu.V. *Raschet mnogosloynnykh dorozhnykh plit, armirovannykh ploskimi georeshetkami*. [Calculation of multilayer road plates, flat geogrid-reinforced]. *Obrazovanie, nauka i tekhnika: XXI vek. Khanty-Mansiysk: Izd-vo Yugor. gos. un-ta*. 2004. issue 2. Pp. 107-111. (rus)
30. Matveev S.A., Nemirovskiy Yu.V. *Svoystva uprugogo sloya osnovaniya dorozhnoy odezhdy, armirovannogo obemnoy georeshetkoy*. [The elastic properties of the base layer of pavement reinforced with geogrid volume]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2005. № 2. Pp. 24-28. (rus)
31. Timofeeva L.M. *Issledovanie raboty armiruyushchey tekstilnoy prosloyki v gruntovom massive*. [Research of the textile reinforcement layer in the soil mass]. *Sinteticheskie tekstilnye materialy v konstruktivnykh avtomobilnykh dorog*. Tr. Soyuzdornii. 1983. Pp. 38-44. (rus)
32. Mednikov I.A., Matveev S.A. *Potentsialnaya energiya plity pri izgibe ot silovogo i temperaturnogo vozdeystviya*. [The potential energy of plate bending from the force and the effects of temperature] // *Stroitel'naya mekhanika i raschet avtodorozhnykh konstruktivnykh*. Sb. nauch. tr. 1980. Pp. 22-26. (rus)
33. Nemirovskiy Yu.V., Matveev S.A. *Postroenie raschetnoy modeli grunta, armirovannogo obemnoy georeshetkoy*. [Building a computational model of soil, geogrid-reinforced bulk]. *Stroitelstvo publishing*. 2002. № 9. Pp. 95 - 101. (rus)
34. Kazarnovskiy V.D., Merzlikin A.Ye., Gladkov V.Yu. *K otsenke oblasti ratsionalnogo primeneniya armiruyushchikh setok v dorozhnykh odezhdakh nezhestkogo tipa*. [By evaluating the rational use of reinforcing mesh in a non-rigid pavement type]. *Povyshenie dolgovrechnosti dorozhnykh konstruktivnykh*. Tr. Soyuzdornii. 1986. Pp. 68-75. (rus)
35. Kim A.I., Kondakov Ye.I. *Primenenie georeshetok v dorozhnom stroitelstve*. [The use of geogrids in road construction]. *Primenenie geosintetiki i geoplastikov pri stroitelstve i remonte avtomobilnykh dorog*. Tr. Soyuzdornii. 1998, issue 196. Pp. 115-120. (rus)
36. Kapustin B.L. *Osnovnye tendentsii ispolzovaniya geosetok v Rossii i za rubezhom* [The main trends in the use of geogrids in Russia and abroad] *Primenenie geosintetiki i geoplastikov pri stroitelstve i remonte avtomobilnykh dorog*. Tr. Soyuzdornii. 1998. issue 196. Pp. 101-103. (rus)
37. Lvovich Yu.M., Aliver Yu.A., Kim A.I. *Geosinteticheskie i geoplastikovy materialy v dorozhnom stroitelstve*. [Geosynthetics and geoplastikovy materials in road construction]. *Avtomob. dorogi: Obzorn. Inform. Informavtodor*. M., 1998. issue 5. 77 p. (rus)
38. Yin J.H. Comparative modeling study on reinforced beam on elastic foundation // *ASCE Journ. of Geotechn. and Geoenvironmental Engineering*. 2000. Vol. 126, № 3. Pp. 265-271.
39. Yin J.H. Modelling geosynthetic reinforced granular fills over soft soil // *Geosynth. Intern*. 1997. Vol. 4. № 2. Pp. 165-185.
40. Zhan C., Yin J.H. Elastic analysis of soil geosynthetic interaction // *Geosynth. Intern*. 2001. Vol. 8, № 1. Pp. 27-48.
41. Shukla S.K. *Shallow foundations in geosynthetics and their applications*. Editor Thomas Telford, London. 2002. Pp. 123-163.
42. Shukla S.K., Chandra S.A *generalized mechanical model for geosynthetic-reinforced foundation soil* // *Geotextiles and Geomembranes*. 1994. Vol. 13. Pp. 813-825.
43. Cancelli P., Recalcati P., Doh S.R. Reducing differential settlements under a road embankment in Korea by use of geosynthetics: a finite elements analysis / *Tenax geosynthetics: Technical document*. 2000. 6 p.
44. Douglas R.A. Modeling geotextile behaviour in thin access road fills over peat subgrades // *Proc. 40th Canadian Geotechn. Conf., Regina*. 1987. Pp. 143-146.
45. Maheshwari P., Chandra S., Basudhar P.K. Modelling of beams on geosynthetic-reinforced granular fill-soft soil system subjected to moving loads // *Geosynthetics Intern*. 2004. Vol. 11, № 5. Pp. 369-376.

46. Shcherbina E.V. *Geosinteticheskie materialy: klassifikatsiya, terminy, opredeleniya*. [Geosynthetics: classification, terminology, definitions]. // *Geotekstil i geosintetiki pri stroitelstve avtomobilnykh dorog: Tez. dokl. Mezhdunar. seminara*, 14-15 Novemder 2001. M.: MADI (GTU) publishing, Pp. 20 - 24. (rus)
47. Koerner R.M. Emerging and future developments of selected geosynthetic applications // *Journ. of Geotechn. and Geoenvironmental Engineering / Transact. of American Soc. of Civil Engineers*. 2000. Vol. 126, №4. Pp. 293-306.
48. Badanin A.N., Kolosov E.S. *Opredelenie nesushchey sposobnosti armirovannogo geoshetkoy gruntovogo osnovaniya*. [Determinating the bearing capacity of soil foundation reinforced by geogrid]. *SPb.: Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2012. №4. Pp. 25-64. (rus)
49. Abu Khalifa Abdul Salyam Mustafa. *Ustroystvo iskusstvenno uluchshennykh osnovaniy v slabykh gruntakh putem fibroarmirovaniya*. [The device is artificially enhanced foundation in soft ground by fibroarmirovaniya]. Diss. of candidate of technical sciences: 05.23.02. SPb., 1992. 135 p. (rus)
50. Binquet J., Lee K.L. Bearing capacity tests on Reinforced Earth Slabs // *J. Geot. Engng. Proc. ASCE*. 1975. №101. Pp. 55-76.
51. Alkhimova N.V. *Konstruktsiya s ortotropnoy plitoy*. [Structure with orthotropic plate.] // *Yezhemesyachnyy informatsionno analiticheskiy zhurnal "Avtomobilnye dorogi"*. 2011. № 9 (958) September. Pp. 9-12. (rus)
52. Lekhnitskiy S.G. *Anizotropnye plastinki*. [Anisotropic plate.] M.: Nauka publishing, 1977. 367 p. (rus)
53. Berlinov M.V. *Osnovaniya i fundamenty*. [Bases and foundations]. M.: Vyssh. shk., 1999. 319 p. (rus)
54. Nosikov A.I. *Vliyaniye ortotropii i neodnorodnosti na napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye osnovaniy i konstruktsiy*. [Effect of orthotropy and inhomogeneity on the stress-strain state of the grounds and structures]. Diss. of candidate of technical sciences: 05.23.17. SPb, 2000 . 144 p. (rus)
55. Kobeyi Abdul Menkhem Akhmad. *Vliyaniye ortotropii armirovaniya na formu razrusheniya zhelezobetonnykh plit*. [Influence on the shape of the reinforcement orthotropy destruction of reinforced concrete slabs]. Diss. of candidate of technical sciences. Leningrad: LGTU publishing. 1990. 22 p. (rus)
56. Krutov V.I., Sorochan E.A., Kovalev V.A. *Fundamenty melkogo zalozheniya*. [Shallow foundations]. M.; AVS publishing, 2009. 232 p. (rus)
57. Geotechnical Engineering Office. *Foundation design and construction*. Hong Kong: GEO Publication, № 1. 2006. 376 p.
58. SNiP 2.02.01-83\* "Construction in seismic regions".(rus)
59. Stavnitser L.R. *Seysmoustoykost osnovaniy i fundamentov. Monografiya*. [Seismic stability of the bases and foundations. Monograph.]. M.: ASV publishing, 2010. Pp. 448. (rus)
60. Dalmatov B.I., Bronin V.N., Karlov V.D., Mangushev R.A. i dr. *Osnovaniya i fundamenty*. [Bases and foundations]. Part 2. M.: ASV publishing, 2002. 392 p. (rus)
61. Ponomarev V.A. *Arkhitekturnoe konstruirovaniye*. [The architectural design]. M.: "Architecture – C" publishing, 2008. 738 p. (rus)
62. Dalmatova B.I. *Proektirovaniye fundamentov zdaniy i promyshlennykh sooruzheniy*. [Design of foundations of buildings and industrial facilities.]. M.: «Vyssh. shkola». 1969. 296 p. (rus)
63. Bill Eich Frost-protected shallow foundations. JLC. SEPTEMBER 1996
64. Siraziev L.F., Bogdanov R.R. *Ekspierimentalnye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dvukhsloynnogo gruntovogo osnovaniya plitnogo fundamenta pri zhestkom podstilayushchem sloe*. [Experimental investigation of the stress-strain state of a two-layer soil foundation slab foundation with a hard subsurface layer]. Kazan: KGASU publishing, 2012. № 1(19). Pp. 67-73.
65. Ledyayev C.B. *Neodnorodnye gruntovye naplastovaniya s promezhutochnym slabym sloem kak osnovaniya fundamentov melkogo zalozheniya*. [Heterogeneous groundwater strata with an intermediate layer of a weak base of shallow foundations.]. Diss. of candidate of technical sciences. SPb.,1992. 178 p.
66. Ledyayev C.B. *Opyt ispolzovaniya plitnogo fundamenta pri stroitelstve grazhdanskogo zdaniya na slabykh gruntakh*. [Experience in the use of the foundation slab in the construction of civil buildings on soft ground]. *Montazhnye i spetsialnye spoitelnye raboty*. Issue 2. M.: PKTI "SpetsstroP-proekt", 1991. Pp.1-7.
67. Zytovych N.A. *Mekhanika grunkov (kratkij kurs)*. [Soil Mechanics (brief course)]. M.: Vyshaya shkola, 2011. 272 p. (rus)
68. Dalmatov B.I. *Mekhanika gruntov, osnovanoya i fundamenty (vkluchaya spetskurs inzhenernoj geologii)* [Soil mechanics, bases and foundations (including course of engineering geology)]. Lan' publishing: 2012. 415 p. (rus)

69. Tetior A.N. *Progressivnye konstruksii fundamentov dlya usloviy Urala i Tyumenskoj oblasti*. [The progressive design of foundations for the Urals and the Tyumen region.]. Sverdlovsk: Sredne-Uralskoe publishing, 1971. 176 p. (rus)
70. Tetior A.N., Rodin SV *Ispytanie lentochnykh fundamentov pri khrupkom razrushenii* [The test strip foundations in brittle fracture] *Center, Institute of Scientific. Inform. by p-woo and arhitekture*. M. ser. 8. 1978. Issue. 9. Pp. 44. (rus)
71. Tetior A.N. *Ob ustoychivosti osnovaniya pod fundamentami s krivolineynoy formoy podoshvy*. [On the stability of the base under the foundations of the curved shape of the sole]. *Trans. construction and architecture*. 1969. № 5. Pp. 14. (rus)
72. Pilyagin A.V. *Proektirovanie fundamentov koltsevoy formy*. [Design of foundations circular shape]. SPb: OFMG. 2006. №1. Pp. 14-15. (rus)
73. Kapustin V.V. *Metodika rascheta krenov fundamentov s koltsevoy formoy podoshvy vo vremeni*. [Method of calculating the banks of the bases with the ring shape of the sole in time]. // *Mosty i tonneli: teoriya, issledovaniya, praktika: mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, 11-12 october 2007 year.: *tezisy doklada*. Dnepropetrovsk, 2007. Pp. 128-129. (rus)
74. Kapustin V.V., Shapoval V.G., Ilev I.M. *Zakonomernosti razvitiya vo vremeni krenov vnetsentrenno nagruzhennykh fundamentov s koltsevoy formoy podoshvy na obladayushchem svoystvom polzuchesti osnovanii*. [Patterns of development time rolls eccentrically loaded the bases with circular shape of the sole on the basis of possessing the property of creep.]. *Collection of scientific works of Poltava National Technical University. Kondratyuka Y*. Issue 19. Poltava: 2007. Pp. 53-58. (rus)
75. Rybin V.S., Rybina L.V. *Opredelenie optimalnoy formy i razmerov podoshvy vnetsentrenno nagruzhennykh fundamentov melkogo zalozheniya*. [Determination of the optimal shape and size of the soles of eccentrically loaded shallow foundations.]. SPb: OFMG. 2012. №1. Pp. 6-9. (rus)
76. Bugrov A.K. *Fundamenty osnovnykh zdaniy i sooruzheniy atomnykh i teplovykh elektrostantsiy*. [The foundations of the main buildings and structures of nuclear and thermal power plants]. *Uchebnoe posobie*. L.: LGTU, 1991. 88 p. (rus)
77. *Rekomendatsii po raschetu osnovaniy koltsevykh fundamentov dymovykh trub*. [Recommendations for the calculation basis of ring foundations of chimneys.]. M.: NII osnovaniy, 1976. 55 p. (rus)
78. Hudyakov A.V. *Ekspiermentalnye issledovaniya peremeshcheniy i nesushchey sposobnosti koltsevykh fundamentov pri deystvii ploskoy sistemy sil*. [Experimental studies of displacement and load-bearing capacity of foundations under the action of the ring plane system of forces]. *Diss of candidate of technical sciences: 05.23.02*. Volgograd. 2003, 177 p. (rus)
79. Balazsy B. *Melypitesudomanyi Szemle*, 1967. № 8. Pp. 260–265.
80. Golder H.Q. State-of-the-art of floating foundations // *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs*. 1965. vol 92. № 3.
81. Sorochan E.A. *Fundamenty promyshlennykh zdaniy*. [The foundations of industrial buildings]. M.: *Stroyizdat*, 1986. 303 p. (rus)
82. Sorochan E.A. and Ph.D. Trofimenkova Y.G. *Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya*. [bases, foundations and underground structures]. Reference designer. Under the general editorship of Prof. M.: *Stroyizdat*, 1985. 480p. (rus)
83. Sorochan E.A. *Voprosy sovershenstvovaniya fundamentov na estestvennom osnovanii*. [The improvement of the foundations on the natural basis.]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 1977. № 5. Pp. 9-12. (rus)
84. Krakhmalnyy T.A. *Issledovaniya raboty peschanogo osnovaniya lentochnogo fundamenta s lomanyym ochertaniem opornoj plity*. [Research of the sandy base of the strip foundation with broken outline of the base plate]. *Diss of candidate of technical sciences: 05.23.02*. SPb, 2010. 207 p. (rus)
85. Hrytsuk M.S. *Ratsionalnye konstruksii plit dlya lentochnykh fundamentov*. [Rational design of plates for strip foundation]. Brest State Technical University Czestochowa University of Technology, 1998. 283 p. (rus)
86. Hrytsuk M.S. HulboJ Ryszard, Hrytsuk A. M. *Ratsionalnye raschetnye skhemy gruntovykh osnovaniy dlya ustroystva sbornykh i monolitnykh lentochnykh fundamentov*. [Rational design models of soil bases for the device modular and monolithic strip foundations]. Brest State Technical University Czestochowa University of Technology. 2011. №4(33). Pp. 138-142. (rus)
87. Hrytsuk M.S. *Ratsionalnye konstruksii plitnykh fundamentov*. [Rational designs of plates foundations.] Brest : BPI, 1997. 218 p. (rus)
88. Hrytsuk, M.S. *Ratsionalnye konstruksii fundamentov shirinoj bolee 3,2 m* [Rational design of foundations of a width exceeding 3.2 m] // *Tez. dokl. XXI nauchn.-tekhn. konf. po probleme «Nauka i mir»*. Brest, 1995. Part 3. Pp. 72-74. (rus)

89. Hrytsuk, M.S., Ignatyuk V.Y. *Razrabotka i primeneniye ekonomichnykh konstruksiy plit dlya lentochnykh fundamentov*. [Development and application of cost-effective designs of plates for strip foundations]. *Tez. dokl. mezhvuz. konf.*, Brest, 5-6 january. 1989. Pp. 43-45. (rus)
90. Hrytsuk, M.S., Ignatyuk V.Y. *Issledovaniye sovmestnoy raboty uprugogo osnovaniya i fundamentnykh plit s krivolineynoy poverkhnostyu opiraniya*. [The research collaboration of the elastic foundation and base plates with curved surface bearing] *Selskoe str-vo Belorussii*. Minsk: 1982. № 1. Pp. 20-22. (rus)
91. Hrytsuk, M.S. Ignatyuk V.Y., Tarasevich A.N. *Ratsionalnye konstruksii lentochnykh fundamentov s vypukloy podoshvoy*. [Rational design of strip foundations with a convex sole]: Brest, 1986. 4 p. (rus)
92. Hrytsuk, M.S. *Konstruksii plitnykh lentochnykh fundamentov na slabykh osnovaniyakh*. [Design of plate strip foundations on weak base]. *Stroitelstvo zdaniy na krutykh sklonakh i otkosakh: Tez. dokl. respubl. konf.*, Sevastopol, 26-27 March 1989. Pp. 24-25. (rus)
93. Hrytsuk, M.S., Darkovich S.S. *Deystvie zhestkogo shtampa s vypukloy poverkhnostyu opiraniya na gruntovoe osnovanie*. [The action of a rigid punch with a convex surface bearing on the subgrade]. *Izv. vuzov. Str-vo i arkhitektura*. 1980. № 6. Pp. 17-20. (rus)
94. Naresh C. Samtani, PE, PhD and Edward A. Nowatzki, P E, PhD Soils and foundations // Reference Manual-volume II. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Publication № FHWA NHI-06-089. December 2006. 594 p.
95. Yevtushenko S.I. *Razrabotka metodov rascheta i printsipov konstruirovaniya sbornykh plitnykh fundamentov i podpornykh sten i ikh eksperimentalnoye obosnovaniye*. [Development of methods of calculation and design principles of prefabricated of plate foundations and retaining walls, and their experimental validation.]. Diss. of PhD.: 05.23.02. Novocherkassk, 2011. 319 p. (rus)
96. Myasnyankin A.V., Myasnyankin A.A. *Perspektivny'e konstrukcii zdaniy i sooruzhenij*. [Perspective constructions of buildings and structures.] Reference guide. Moscow.: Association building universities publishing, 2013. 144 p.