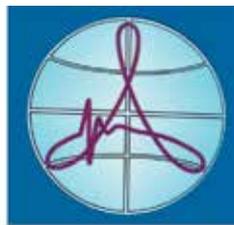




Открытое акционерное общество
Научно-исследовательский институт
транспортного строительства
(ОАО ЦНИИС)
Филиал ОАО ЦНИИС
Научно-исследовательский центр
«МОСТЫ»



А. Д. СОКОЛОВ

**АРМОГРУНТОВЫЕ СИСТЕМЫ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ
И ТРАНСПОРТНЫХ РАЗВЯЗОК**

Санкт-Петербург, 2013
Отраслевая медиа-корпорация «Держава»

УДК 624.2/8:624.13
ББК 39.188.025
С 594

Рецензенты:

Б. Ф. Перевозников, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор, академик РАТ.

В. И. Шестериков, заведующий отделом Искусственных сооружений ФГУП «РосдорНИИ», доктор технических наук.

Э. М. Добров, заведующий кафедрой «Инженерная геология и геотехника» МГАДУ (МАДИ), доктор технических наук, профессор, академик РАТ.

И. Д. Сахарова, заместитель генерального директора ООО «НПП СК Мост», кандидат технических наук, лауреат премии Совета министров СССР.

В. Б. Татарин, заместитель генерального директора ОАО «Союздорпроект».

В. Г. Решетников, начальник отдела мостов, ГИП ОАО «Союздорпроект», кандидат технических наук, заслуженный строитель РФ, почетный дорожник РФ.

А. Д. Соколов

С 594 **Армогрунтовые системы автодорожных мостов и транспортных развязок:** монография. – СПб.: ООО Отраслевая медиа-корпорация «Держава», 2013. – 504 с.

ISBN 978-5-7937-0901-0

В монографии изложены основы строительной механики армогрунтовых систем. Обобщена практика проектирования и строительства мостовых сооружений и подпорных стен на автодорогах и транспортных развязках. Описывается отечественный и зарубежный опыт. Содержатся рекомендации по технологии строительства, выбору материалов и экономической оценке эффективности.

Книга предназначена для проектных и строительных организаций по транспортному строительству, а также для аспирантов и студентов профильных вузов.

УДК 624.2/8:624.13

ББК 39.188.025

**Охраняется законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части запрещается
без письменного разрешения автора.
Любые попытки нарушения закона будут преследоваться
в судебном порядке**

ISBN 978-5-7937-0901-0

© ОАО ЦНИИС, 2013

© А. Д. Соколов, 2013

© ООО Отраслевая медиа-корпорация «Держава», оформление, 2013

Автор выражает благодарность спонсорам издания:

Группа компаний «СК МОСТ»



ЗАО «Институт «Стройпроект»



ОАО «Трансмост»



Представительство HUESKER Synthetic GmbH в России



Группа компаний «АРЕАН-Геосинтетикс»



НПО «Мостовик» (Омск)



ООО «ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ»



ООО «Сочитранстоннельпроект ТО-44»



Группа компаний «МИАКОМ»



Предисловие

*Снижение роли науки
в управлении обществом
кроме нравственной деградации
в перспективе ведет к примитивизации
технологий и культуры
А. А. Цернант**

Цель данной монографии – обобщить и систематизировать опыт, накопленный за несколько десятилетий филиалом ОАО ЦНИИС «НИЦ «Мосты» в области теоретических и экспериментальных исследований, проектирования и строительства армогрунтовых систем автодорожных мостов, путепроводов, эстакад и подпорных стен в составе транспортных развязок.

Благодаря тесному общению и сотрудничеству с рядом зарубежных фирм, а также с их представительствами в России, изучен и проанализирован зарубежный опыт транспортного строительства с применением армированного грунта, рассмотрены нормативные и рекомендательные документы.

Один из основных разделов книги – «Основы строительной механики армогрунтовых систем». Он базируется на трудах классиков строительной механики грунтов, выделенных в разделе «Литература» в отдельный список, опирается на действующие российские и зарубежные нормативные и рекомендательные документы, также выделенные в отдельный список раздела «Литература».

Вторая часть книги посвящена практике проектирования и строительства армогрунтовых систем автодорожных мостов, как в России, так и за рубежом. Анализ этой практики позволяет делать некоторые обобщения и выводы о перспективных армогрунтовых системах для транспортного строительства (и мостостроения, в частности) в нашей стране.

Большое внимание в книге уделено вопросу пересмотра и обновления структурной схемы мостового перехода, и в особенности – роли сопряжения мостов с геомассивами береговых склонов и подходных насыпей.

Транспортное строительство, исходя из современных требований модернизации отечественной экономики, как ни одна другая отрасль нуждается в инновационных решениях, ускоряющих темпы строительства, существенно повышающих качество работ и обеспечивающих экономию финансовых и материальных средств – в сравнении с современным их уровнем и зарубежным опытом, при безусловном

* См. раздел «Литература»: [82].

повышении безопасности, эксплуатационной надежности и долговечности сооружений.

Третья часть книги посвящена подпорным стенам на автомобильных дорогах и в составе транспортных развязок.

Автор выражает благодарность генеральному директору ОАО ЦНИИС А. П. Сычёву, руководству Филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Мосты», которые оказали помощь в продвижении этой книги. Автор также искренне благодарен кандидату технических наук Э. А. Балючику, заведующему лабораторией опор мостов, и кандидату технических наук Ю. М. Егорушкину, заведующему лабораторией методов расчета мостов, предоставившим полезные материалы для книги.

Особая благодарность автора адресована руководителям и специалистам проектных и строительных организаций, благодаря которым было запроектировано и построено большое число сооружений с использованием армогрунтовых систем и которые внесли неоценимый вклад в продвижение оригинальных конструкций армогрунтовых систем в практику транспортного строительства, а именно:

- генеральному директору ООО «Союздорпроект» В. М. Телегину;
- заместителю Генерального директора ООО «Союздорпроект» И. Г. Прохорову;
- начальнику отдела искусственных сооружений ООО «Союздорпроект» Ю. И. Федорову;
- главному инженеру проектов ООО «Союздорпроект» А. Н. Солодунину;
- генеральному директору ЗАО «Институт «Стройпроект» А. А. Журбину;
- заместителю генерального директора ЗАО «Институт «Стройпроект» А. Б. Суровцеву;
- главному инженеру проектов ЗАО «Институт «Стройпроект» Т. Ю. Гуревич;
- генеральному директору ОАО «Мостотрест» В. Н. Власову;
- заместителю генерального директора, главному инженеру ОАО «Мостотрест» В. Н. Коротину;
- заместителю главного инженера ОАО «Мостотрест» В. П. Соломину;
- директору ЧТФ «МО-41» ОАО «Мостотрест» А. А. Минееву.

Глубочайшую признательность автор выражает рецензентам книги, внесшим ряд полезных замечаний для улучшения рукописи монографии:

- заслуженному деятелю науки РФ, заслуженному строителю РФ, доктору технических наук, профессору, академику Российской академии транспорта Б. Ф. Перевозникову;

- заведующему кафедрой «Инженерная геология и геотехника» Московского государственного автодорожного университета (МАДИ), доктору технических наук, профессору, академику Российской академии транспорта Э. М. Доброву;
- заведующему отделом искусственных сооружений ФГУП «РосдорНИИ», доктору технических наук В. И. Шестерикову;
- заместителю генерального директора ООО «НПП СК Мост», кандидату технических наук, лауреату премии Совета Министров СССР И. Д. Сахаровой;
- заместителю генерального директора ОАО «Союздорпроект» В. Б. Татаринову;
- начальнику отдела мостов ОАО «Союздорпроект», главному инженеру проектов, заслуженному строителю РФ, почетному дорожнику РФ, кандидату технических наук В. Г. Решетникову.

А. Д. Соколов

**Выдержки из рецензий на рукопись
монографии А. Д. Соколова
«Армогрунтовые системы автодорожных мостов
и транспортных развязок»**

1. ОАО «ГИПРОСТРОЙМОСТ»

Одна из глав монографии (глава 2) посвящена основам строительной механики армогрунтовых систем, что сделано в отечественной технической литературе впервые.

Опираясь на труды основоположников строительной механики грунтов (Кулона, Ребхана, Понселе, Кульмана, Прокофьева, Клейна и др.), автор сумел преобразовать всю цепочку классических теорем механики сыпучих тел для армогрунтовых систем – путем трансформации всех известных аналитических и графических решений применительно к новой задаче – расчету армогрунтовых систем с учетом всевозможных особенностей их работы, в том числе в экстремальных инженерно-геологических условиях. Творчески и критически изучив зарубежный опыт и нормативную базу, автор предлагает ряд альтернативных решений.

Заслуживает безусловного внимания специалистов-мостовиков предложенная А. Д. Соколовым новая структурная схема мостового перехода.

В разработанной автором классификационной схеме армогрунтовых систем мостов подробно представлен весь спектр их использования в мостостроении, включая такие новые разделы, как применение геосинтетики при устройстве буровых свай, при ремонте и реконструкции мостов, защите мостов от оползневых воздействий.

*Заслуженный деятель науки РФ
заслуженный строитель РФ,
доктор технических наук,
профессор, академик РАТ*
Б. Ф. Перевозников

2. ФГУП «РОСДОРНИИ»

Наибольший интерес представляет глава 2, «Основы строительной механики армогрунтовых систем». Этот новый, введенный автором термин означает практически создание нового полноценного раздела классической строительной механики грунтов, начало которой положено Ш. Кулоном. Автором взяты на вооружение труды ученых, развивавших эту теорию многие десятилетия. Вводя ряд дополнительных предпосылок, автор доказал полный комплект теорем, положений и графических построений, составляющих скелет строительной механики грунтов, применительно к новому объекту исследований – армогрунтовым системам. При этом получены аналитические решения для общего случая и многих частных задач (учет внешних нагрузок на поверхности грунта, сеймики, напластования грунтов, влияние грунтовых вод и пр.). Следует отметить, что в такой постановке это сделано впервые. Приведенные решения могут быть легко компьютеризированы.

В 9-й главе подробно рассмотрен ряд примеров осуществленных проектов подпорных стен в составе транспортных развязок, где автор принимал личное участие. Особое внимание привлекает проектирование и строительство армогрунтовой подпорной стены насыпи подхода к Андреевскому мосту. Автор рассматривает этот объект с позиций разработанных в ЦНИИСе (А. А. Цернант) «Экосистемных основ безопасности инженерно-строительной деятельности».

*Заведующий отделом
искусственных сооружений,
доктор технических наук*
В. И. Шестериков

3. МГАДУ (МАДИ)

Впервые автором проведено разделение армогрунтовых систем на статически определимые и статически неопределимые; даны методические разработки для расчета статически неопределимых армогрунтовых систем с использованием методов строительной механики.

В 6-й и 9-й главах приведено много примеров осуществленных проектов автодорожных мостов и подпорных стен с использованием армогрунтовых систем, в научно-техническом сопровождении проектирования и строительства которых автор лично принимал участие; приведен также ряд примеров из зарубежной практики с анализом их достоинств и недостатков.

*Заведующий кафедрой
«Инженерная геология и геотехника»,
доктор технических наук,
профессор, академик РАТ
Э. М. Добров*

4. ООО «НПП СК МОСТ»

Монография посвящена актуальнейшему вопросу для транспортного строительства в целом и мостостроения в частности – широкому внедрению армогрунтовых систем в конструкции мостов, узлов сопряжения мостов с геомассивами береговых склонов и подходных насыпей, подпорных стен на автодорогах и в составе транспортных развязок.

В отдельной главе рассматриваются вопросы применения армогрунтовых систем при ремонте и реконструкции мостов, определена область применения этих технологий, составлена детальная структурная схема этой области мостостроения. Следует отметить, что это сделано также впервые.

Заслуживают несомненного внимания разработанные автором совместно с проектными институтами новые конструктивные решения устоев мостов, позволяющие сократить длину моста и число опор за счет отказа от традиционного конусного варианта устоев.

*Заместитель генерального директора,
кандидат технических наук,
лауреат премии Совета министров СССР
И. Д. Сахарова*

5. ОАО «СОЮЗДОРПРОЕКТ»

Представленная на рассмотрение рукопись позволяет судить о том, что автор обобщает в ней многолетний опыт своей работы и достижения НИЦ «Мосты» в области применения армогрунтовых систем в мостостроении. Это подтверждает тот факт, что А. Д. Соколов по заказу ОАО «Союздорпроект» разработал СТУ по применению армогрунта при проектировании мостовых сооружений на скоростной автодороге Москва – Санкт-Петербург, а также для Центральной кольцевой автодороги вокруг города Москвы.

Следует отметить, что в настоящее время ни одного нормативного документа по проектированию и строительству подпорных стен в транспортном строительстве нет. Работы А. Д. Соколова могли бы послужить основой такого документа.

*Заместитель генерального директора
В. Б. Татарин*

6. ОАО «СОЮЗДОРПРОЕКТ»

Автор монографии А. Д. Соколов хорошо известен во многих проектных и строительных организациях как высококлассный специалист, посвятивший многие годы своей научной деятельности исследованию армогрунтовых конструкций и применению их в мостостроении.

В связи с этим появление объемной и многоплановой монографии, посвященной одному из актуальных вопросов модернизации транспортного строительства, весьма своевременно.

Что особенно привлекательно, А. Д. Соколов рассматривает множество теоретических решений, имеющих непосредственное практическое значение для проектировщиков, сопровождая эти решения примерами расчетов.

Тесно сотрудничая с проектировщиками и строителями, автор хорошо знает практику мостостроения, о чем свидетельствуют объемные главы книги, посвященные примерам проектирования и строительства мостов с использованием армогрунтовых систем.

*Начальник отдела мостов, ГИП,
кандидат технических наук,
заслуженный строитель РФ,
почетный дорожник РФ
В. Г. Решетников*

ВВЕДЕНИЕ

*То, что мы знаем, – ограничено,
а то, чего не знаем, – бесконечно.*

П. С. Лаплас

После того как французский инженер Анри Видаль [51] в 1966 году запатентовал свое изобретение как товарный знак «армированный грунт», конструкции из армированного грунта очень быстро привлекли к себе внимание, завладели умами инженеров-строителей и сразу начали проникать во все отрасли строительного производства: гидротехнические сооружения [61], дорожное строительство [18, 20–24, 56–58] и мостостроение [47, 91–101], строительство аэродромов, промышленное и гражданское строительство [48], в рекультивацию свалок отходов, а также во многие другие отрасли.

В предисловии к книге К. Д. Джоунса [54], являющейся первой опубликованной в России монографией (перевод с англ.) по армированному грунту, президент института гражданских инженеров Дж. Э. Гэффни (Великобритания) пишет:

«За последние годы трудно найти тему, которая вызвала бы столь же широкий интерес и так пробудила творческое воображение у специалистов по гражданскому строительству, как это произошло с концепцией об армированном грунте. Простота ее основных принципов и возможности достижения экономической эффективности представляются крайне привлекательными для проектировщиков в условиях ограниченных финансовых средств, в то время как возможности получить на ее основе альтернативное или новаторское конструктивное решение создают простор для инженерной фантазии».

В бывшем СССР и в России этот процесс шел, по традиции, с большим отставанием – или, как принято называть это явление в соплате, с упругим последствием. В то время как за рубежом развилась мощная индустрия, производящая геосинтетические и геопластиковые материалы, сформировались соответствующие отрасли науки, в СССР (а затем и в России) делались только первые шаги по применению нового композитного материала – «армированного грунта» в транспортном строительстве и мостостроении. В отделении искусственных сооружений (так раньше назывался НИЦ «Мосты») инициатором научных исследований и практического внедрения армированного грунта в мостостроении был кандидат технических наук, заведующий лабораторией опор мостов

Э. А. Балючик. Под его руководством были запроектированы и построены первые мостовые сооружения с устоями диванного типа на армогрунтовых основаниях [47].

Значительное развитие в области транспортного строительства и, в частности, мостостроения, армогрунтовые системы получили после реализации таких крупных проектов, как реконструкция МКАД, строительство Третьего транспортного кольца в Москве, КАД вокруг Санкт-Петербурга, Четвертого транспортного кольца в Москве, объектов транспортной инфраструктуры олимпийского Сочи, а также ряда объектов на других федеральных и региональных трассах [47, 91–101, 105, 106, 112, 116–124].

Уже первые опыты применения армогрунтовых систем в транспортном строительстве показали их высокую эффективность – как в плане экономии финансовых ресурсов, так и в плане сокращения сроков строительства при сохранении требований норм по обеспечению безопасности, надежности и долговечности мостовых и других сооружений транспортной инфраструктуры.

За несколько десятилетий в НИЦ «Мосты» ОАО ЦНИИС проведены как экспериментальные, так и теоретические исследования армогрунтовых систем мостов, путепроводов, транспортных развязок и подпорных стен на автомобильных дорогах; запроектированы и построены многие десятки сооружений с применением армогрунтовых систем, сформирована стройная теория, создающая дисциплину «**Основы строительной механики армогрунтовых систем**» как часть теории взаимодействия сооружений с грунтами [25–40]. Многие конструкции защищены патентами РФ на изобретения и успешно внедрены на реальных объектах [91, 99, 101, 103, 106, 112].

Вместе с тем, в России до сих пор отсутствует единый нормативный документ, регламентирующий методологию проектирования сооружений из армированного грунта, технологию их строительства. При этом выпущено множество различных рекомендаций, стандартов организаций, отраслевых дорожных методических документов, некоторые из них рекомендуют ошибочные решения, не обоснованные теоретически и экспериментально. Ведутся попытки использования зарубежных норм, что, однако, неизбежно наталкивается на ряд труднопреодолимых препятствий:

- различные климатические и инженерно-геологические условия препятствуют гармонизации норм;
- различные временные нагрузки и коэффициенты, принимаемые к этим нагрузкам;
- различная вооруженность строительных организаций техникой и квалифицированными кадрами и многое другое.

Кроме перечисленного, следует отметить, что даже в крупных про-

ектных организациях по транспортному строительству крайне мало специалистов, владеющих **строительной механикой армогрунтовых систем** и методологией проектирования сооружений из нового композитного материала – «армированного грунта».

Монография состоит из трех частей, включающих введение, двенадцать глав, четыре приложения, заключение и список литературы.

Первая часть монографии состоит из четырех глав.

В первой главе рассмотрены структуры армогрунтовых систем, элементы, составляющие эти системы, конструкции и особенности работы армированного грунта как композитного материала. Многие конструкции разработаны автором в содружестве с проектными организациями и защищены патентами РФ на изобретения; приведены примеры зарубежной практики проектирования и строительства сооружений из армированного грунта.

Вторая глава посвящена **основам строительной механики армогрунтовых систем**. Это новый, введенный автором термин, продолжающий классическую линию «старой» теории давления грунта, как ее называет А. И. Прилежаев [30], созданной в 1773 году французским математиком Ш. Кулоном [25] и развитой в работах Г. Ребхана (1871) [28], К. Кульмана (1866) [29], Ж. В. Понселе (1840) [26].

Далее появляются работы У. Ренкина (1857) [27], Е. Винклера, Ж. Буссинеска и более современные исследования В. В. Синельникова (1946) [38], И. П. Прокофьева (1934) [32], К. Терцаги (1933) [31], Л. М. Емельянова [55], Г. К. Клейна [64], принципиально новые в своей основе труды В. В. Соколовского [36], С. С. Голушкевича [37], работы Г. А. Дубровы [39], Н. И. Безухова [34]. Несмотря на эти и многие другие научные исследования российских, советских и зарубежных ученых, современные инженеры-строители и проектировщики все-таки предпочитают оправдавшую себя на практике «старую», кулоновскую теорию, которая, как ни удивительно, получает все новое и новое развитие, пополняя круг задач, решаемых на основе простых и доступных кулоновских гипотез.

Автор монографии внес и свой вклад в расширение круга задач, решаемых на основе гипотез и принципов кулоновской теории, а также трудов ученых, развивших эту теорию. На базе кулоновской теории автору удалось получить ряд аналитических решений пространственных задач, решить ряд задач взаимодействия сооружений с грунтами для экстремальных условий землетрясения [92, 102, 107, 115], дать принципиально отличающиеся от зарубежных методик аналитические выводы в части армогрунтовых систем. Дополнив гипотезы Кулона, также удалось доказать всю цепочку теорем и положений, составляющих

«Строительную механику сыпучих тел» и «Строительную механику грунтов», создав самостоятельный раздел **«Строительная механика армогрунтовых систем»**.

Третья глава монографии посвящена экспериментальным исследованиям механизмов разрушения армогрунтовых систем различного профиля на модели среднего масштаба. Данные исследования позволили выявить новый, не описанный ранее механизм разрушения и дать ему аналитическое обоснование. Также испытана армогрунтовая система новой, петлевой конструкции, имеющая повышенную в разы несущую способность.

В четвертой главе рассмотрены и критически проанализированы механизмы разрушения армогрунтовых систем и отнесение их к первой или второй группам предельных состояний.

Вторая часть монографии включает в себя три главы (пятую, шестую, седьмую). В пятой главе предложена новая структурная схема мостового перехода. Ее использование и включение в нормативные документы позволит повысить безопасность, надежность и долговечность мостовых сооружений. Разработана также классификационная схема армогрунтовых систем автодорожных мостов по их целевому назначению.

В шестой главе приведена серия примеров осуществленных проектов мостовых сооружений с применением армогрунтовых систем. В научном сопровождении проектирования и строительства многих из них автор принимал непосредственное участие. В главе дано подробно иллюстрированное описание процесса строительства, отмечены встречающиеся порой недостатки и брак в строительных работах, которые приходилось затем исправлять, а также проанализированы причины и последствия производственных ошибок. Описываются также некоторые зарубежные объекты транспортного строительства с применением армогрунтовых систем.

Седьмая глава посвящена использованию армогрунтовых систем при ремонте и реконструкции мостов. Составлена подробная схема применения армогрунтовых систем при решении указанных задач, что сделано впервые.

Третья часть монографии включает главы с восьмой по двенадцатую и посвящена в основном подпорным стенам на автомобильных дорогах и транспортных развязках.

В восьмой главе рассмотрены различия в проектировании армогрунтовых систем мостов и подпорных стен. Особое внимание уделено подпорным стенам в горных районах, противооползневые стены и стенам в составе транспортных развязок. Разработана детальная классификационная схема применения подпорных стен в транспортном строительстве.

Девятая глава содержит подробное иллюстрированное описание строительства подпорных стен съездов с мостов, путепроводов и эстакад, а также стен в составе транспортных развязок. Строительный процесс проанализирован с учетом конкретных ошибок, нарушений технологии, которые в ряде случаев приводили к серьезным последствиям. На примере армогрунтовой подпорной стены насыпи подхода к Андреевскому мосту в Москве подробно, с позиций экосистемных основ безопасности инженерно-строительной деятельности [82], рассмотрены выработка и принятие управляющих и корректирующих решений для обеспечения комплексной (интегральной) безопасности объекта. Критически проанализированы некоторые объекты из зарубежной практики транспортного строительства.

В десятой главе даны рекомендации по технологии строительства армогрунтовых систем.

В одиннадцатой главе рассмотрены вопросы выбора материалов для силового армирования. При этом использованы данные, представленные фирмами-производителями и приведенные в Приложениях «Б» и «В».

Двенадцатая глава содержит соображения по оценке технико-экономических показателей использования армогрунтовых систем в транспортных сооружениях.

Автор надеется, что эта книга хотя бы отчасти заполнит имеющийся в этой области вакуум.

Часть I

СТРУКТУРА АРМОГРУНТОВЫХ СИСТЕМ. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ АРМОГРУНТОВЫХ СИСТЕМ



Глава 1

Основные понятия об армогрунтовых системах и составляющих ее элементах

*Размер любой системы должен
соответствовать ее функциям.*

*В. А. Брежнев**

§ 1.1. Армированный грунт – новый композитный материал

Существуют обнаруженные в природе или созданные инженерной мыслью человека новые материалы, состоящие из нескольких материалов, комбинация которых позволяет реализовывать положительные свойства каждого из компонентов, образуя конгломерат, обладающий новыми свойствами. Их принято называть «композитными материалами», подобно тому, как художник, подбирая композицию красок, достигает наилучшего отражения состояния природы, духовного мира человека. Или, к примеру, композитор, следуя законам гармонии, создает сочетание звуков, воплощающее явление природы, настроение и мысли автора, отношения между реальными или виртуальными образами.

Ярким примером композитного материала, созданного человеком, является железобетон, соединивший в себе высокую прочность стали на растяжение и высокую прочность бетонного камня на сжатие.

Появление нового материала потребовало разработки новых методов его расчета, методологии проектирования железобетонных конструкций, технологии их строительства, что вызвало потребность в разработке теории железобетона как части строительной механики. Только теория, подкрепленная экспериментами, позволила вооружить проектировщиков аппаратом для создания эффективных и экономичных конструкций.

До появления армированного грунта как нового композитного строительного материала грунт выполнял, как правило, функции агрессивной среды, создающей нагрузку на сооружения, которые должны были удерживать грунт в рамках определенных геометрических параметров. Исключение составляли несущие слои оснований фундаментов, когда грунт воспринимает нагрузку от сооружения, а не создает ее.

Как известно, грунт (в зависимости от его вида) может воспринимать

* Брежнев В. А. Транспортное строительство – взгляд в будущее // Академия транспорта Российской Федерации. Отделение «Транспортное строительство». Вестник: прил. к журн. «Трансп. стр-во». М., 1994. № 1. С. 7–16).

значительные сжимающие напряжения. Однако те грунты (пески, супеси, суглинки, глины), с которыми чаще всего сталкиваются проектировщики и строители, или совсем не могут воспринимать растягивающие напряжения, или могут воспринимать очень небольшие величины. Последнее относится к связным грунтам, в которых присутствует сцепление, являющееся по своей природе очень нестабильной величиной [40].

Вместе с тем грунты обладают достаточно большими величинами внутреннего трения. При вводе в массу грунта элементов, хорошо работающих на растяжение, между этими элементами и грунтом развиваются контактные силы трения. При этом грунт через эти силы трения может передавать на армирующие элементы, введенные в него, растягивающие усилия. Сам же грунт получает со стороны армирующих элементов сжимающие напряжения. Это дает ему возможность работать на растяжение. Данный процесс иллюстрируется на рис. 1.1.

§ 1.2. Область применения армогрунтовых систем

1.2.1. Транспортное строительство

- Армированные насыпи автомобильных и железных дорог с крутыми откосами или вертикальными облицовочными стенками.
- Стабилизация насыпей на слабых основаниях, минимизация осадок, ускоренная консолидация, «висячие» безосадочные насыпи на свайных основаниях с гибкими ростверками.
- Армирование асфальтобетонных покрытий геосинтетиками для предотвращения растрескивания и образования колеиности.
- Защита автомобильных и железных дорог от оползневых явлений.
- Суффозионная защита склонов и откосов насыпей с помощью геосинтетических материалов.
- Защита в горных районах трассы от склоновых процессов: обвалов, осыпей.

1.2.2. Строительство мостов, путепроводов и транспортных развязок

- Сопряжения мостов и путепроводов с геомассивами береговых склонов и подходов насыпей [54, 56–58, 71, 74, 91, 96, 99, 110, 119, 121].
- Разгрузка несущих элементов обсыпных устоев от давления грунта [101].
- Устройство армированных конусов с крутыми откосами для расширения габарита [100].
- Устои диванного типа на армогрунтовых основаниях [11, 47, 54, 91, 117, 119].
- Устои с отдельными функциями [91, 95, 96, 97, 99, 101, 116–119].
- Защита мостов от оползней [52, 67, 89, 108, 109, 111, 113].
- Ремонт и реконструкция мостов [100].

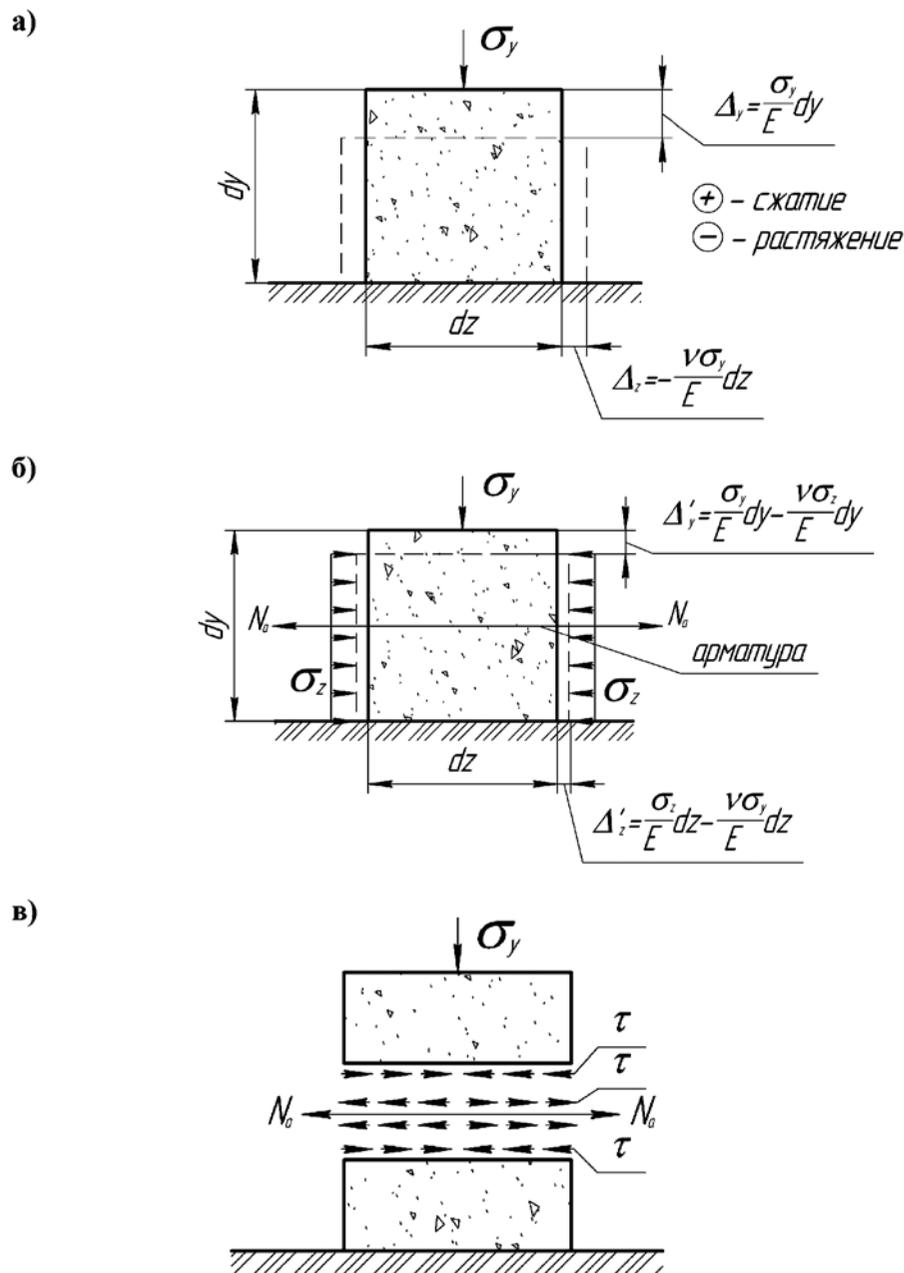


Рис. 1.1. – Влияние армирующих элементов на деформации грунтового кубика:

- а) неармированный грунтовый кубик;
- б) армированный грунтовый кубик;
- в) сила трения между грунтом и армирующим элементом

- Крутые откосы или вертикальные стены насыпей съездов с мостов и путепроводов в составе транспортных развязок [94, 105, 112].
- Устройство буровых свай в геосинтетических оболочках [93, 98, 120].

§ 1.3. Типы армогрунтовых систем по конструктивному выполнению. Конструкции лицевых стенок

В зависимости от типа армирующих элементов, конструкции лицевой стенки, а также способа их соединения армогрунтовые системы подразделяются на несколько принципиально отличающихся типов.

а) Армогрунтовая система выполнена из слоев уплотненного песка, между которыми заложены полотна рулонного геотекстильного материала. Лицевая стенка выполнена из гибкого материала, прикрепленного короткими анкерами к армогрунтовой системе. Лицевая стенка выполняет лишь декоративную и защитную роль и не несет никаких нагрузок (рис. 1.2а).

б) Армирующие элементы выполнены из металлических арматурных каркасов, защищенных от коррозии оцинковкой и обмотанных геотекстилем на битумной мастике для увеличения площади трения. Армирующие элементы крепятся болтами к петлевым выпускам из сборных лицевых железобетонных блоков. Лицевые блоки армированы и передают нагрузку от грунта на анкерные элементы (рис. 1.2б).

в) Лицевая стенка выполнена из сборных вертикальных плит на всю высоту конструкции. Плиты имеют с внутренней стороны выпуски для крепления армирующих элементов в виде арматурных каркасов или одноосных полиэтиленовых решеток (рис. 1.2в).

г) Армогрунтовая система выполнена из рулонных геотекстильных материалов. Лицевая стенка является независимой и имеет связи с армогрунтовой системой лишь для обеспечения ее устойчивости (рис. 1.2г).

д) Армогрунтовая система выполнена из плоских георешеток, защемляемых между габионными ящиками, заполненными камнем и щебнем. Защемление осуществляется путем подбора таких фракций щебня, которые заклиниваются в ячейки георешетки. Лицевая сторона габионов в архитектурных целях может быть облицована декоративными плитами (рис. 1.2д).

е) Армогрунтовая система выполнена из рулонных геосинтетических материалов. Лицевая стенка выполнена из панелей, навешенных внахлестку на армогрунтовую конструкцию. Никаких нагрузок она не несет и выполняет только защитную и архитектурную функции (рис. 1.2е).

Плиты навешены к уголковым элементам, закрепленным в армогрунте с помощью стальных анкеров длиной ~ 50–60 см с горизон-

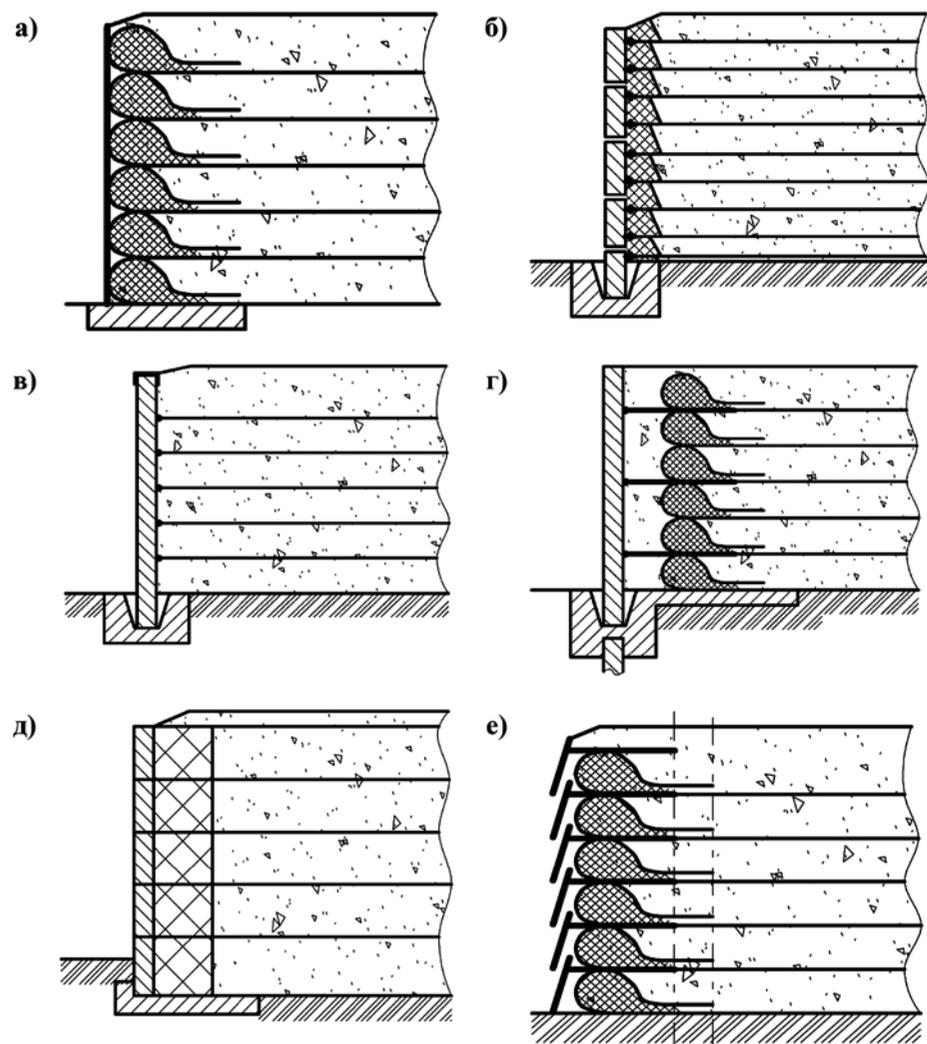


Рис. 1.2. – Типы армогрунтовых систем по их конструктивному исполнению:

а) армирующие элементы из геотекстиля, лицевая стенка гибкая, не воспринимающая нагрузок; **б)** армирующие элементы из металлических каркасов, лицевая стенка из сборных блоков, воспринимающая давление грунта и передающая его на армирующие элементы; **в)** лицевая стенка в виде сплошной плиты на всю высоту сооружения, армирующие элементы – металлические каркасы или георешетки; **г)** армирующие элементы из геотекстиля, лицевая стенка независимая, выполняет защитную роль, промежуток заполняют щебнем или керамзитом; **д)** армирующие элементы из георешетки, лицевая стенка из габионов, заполненных щебнем для заземления георешеток; **е)** армогрунтовая конструкция из рулонных материалов, лицевая сетка из тонких панелей, навешенных на армогрунтовую конструкцию внахлестку

тальным шагом 50–70 см. Навеска плит осуществляется после формирования всей армогрунтовой системы и стабилизации ее осадок. Промежуток между торцом армогрунтовой системы и лицевой стенкой может быть заполнен.

ж) Армогрунтовая система из рулонных геосинтетических материалов имеет лицевую стенку сборной конструкции: стойки двутаврового сечения и забранные в пазы двутавров горизонтальные панели.

Стойки для обеспечения их устойчивости и уменьшения гибкости заанкерены в армогрунт (рис. 1.3).

з) Лицевая стенка выполнена из сборных железобетонных блоков уголкового профиля. По фасаду блоки собираются вразбежку. Соединение между блоками по вертикали осуществляется с помощью вертикальных арматурных стержней, вставляемых в отверстия овальной формы в вертикальных стенках блоков. Отверстия заливаются цементным раствором. Блоки свариваются стальными накладками по закладным деталям с внутренней стороны у краев вертикальных стенок блоков. С внешней стороны ребра блоков должны иметь фаски: швы разделяются раствором. В качестве армирующих элементов могут использоваться одноосные георешетки RE. Для этого при изготовлении блоков в них заделываются «стартеры» – короткие куски георешетки RE, которые крепятся за арматуру блока до его бетонирования. Основная армирующая полоса из одноосных георешеток RE присоединяется к «стартеру» с помощью реек «бодкин» из полиэтилена, поставляемых в комплекте с георешетками (рис. 1.4).

и) Лицевая стенка выполнена из сборных железобетонных блоков уголкового профиля. В качестве армирующих элементов используется прочная геоткань из полиэстера PES. Эта ткань оборачивает призму из щебня, которая должна находиться на расстоянии ~ 20 см от вертикальной стенки блока. С этой целью изготавливаются деревянные инвентарные щиты трапециевидного поперечного сечения, обеспечивающие их легкое извлечение после устройства дренажной анкерной призмы (рис. 1.5). Для отделения щебня от песка используется дренарующий разделительный материал типа Тураг.

к) Лицевая стенка выполнена из крупногабаритных железобетонных сборных блоков различной формы. Типовой размер блока – 1,5×1,5×0,15 м. Блоки могут иметь крестообразную форму. Соединение осуществляется с помощью металлических штырей, вставляемых в отверстия в заплечиках блоков. Отверстия заливаются цементным раствором. С обратной стороны швы между блоками проклеиваются дорнитом на битуме или мостопластом для обеспечения водо- и грунтопроницаемости стенок. С лицевой стороны кромки блоков должны иметь фаски для предотвращения скалывания острых краев при перевозке и монтаже (рис. 1.6).

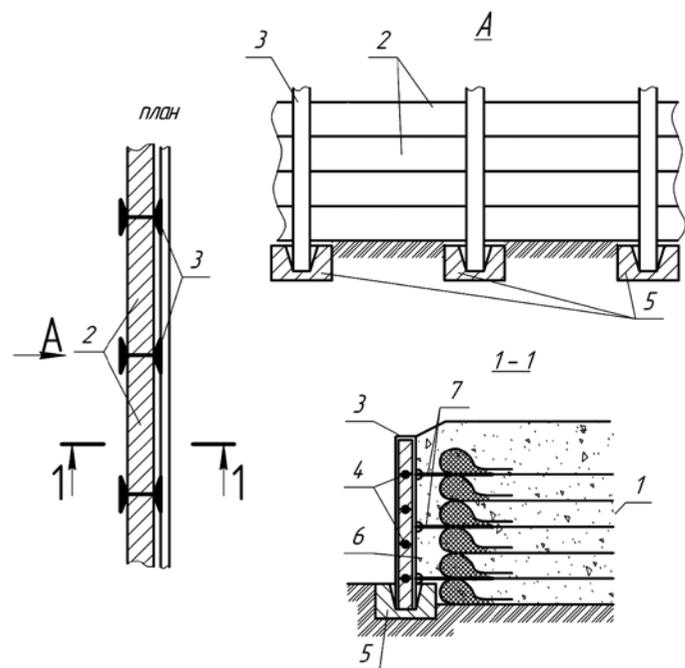


Рис. 1.3. – Армогрунтовая система из рулонных материалов; лицевая стенка, работающая независимо от армогрунтовой системы, выполнена в виде сборной конструкции:

- 1 – армогрунтовая система из синтетической геоткани;
- 2 – железобетонные плиты; 3 – двутавровые стойки;
- 4 – уплотнение между плитами; 5 – фундаменты стоек;
- 6 – засыпка керамзитом; 7 – анкера крепления стоек для уменьшения их гибкости

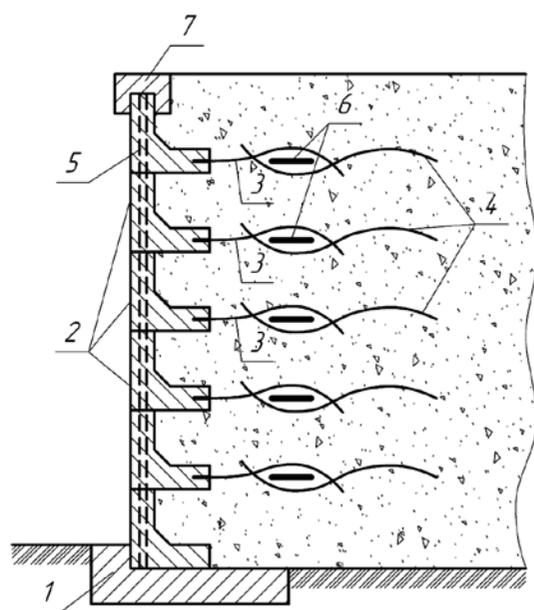


Рис. 1.4. – Лицевая стенка из сборных ж/б блоков углового профиля:

- 1 – фундамент;
- 2 – сборные ж/б блоки;
- 3 – выпуски-«стартеры» из одноосной георешетки, замоноличенные в блоки;
- 4 – армирующие полотна из одноосной георешетки;
- 5 – овальное отверстие под арматурный стержень для вертикальной связи блоков;
- 6 – соединительные пластиковые рейки;
- 7 – шапочный брус

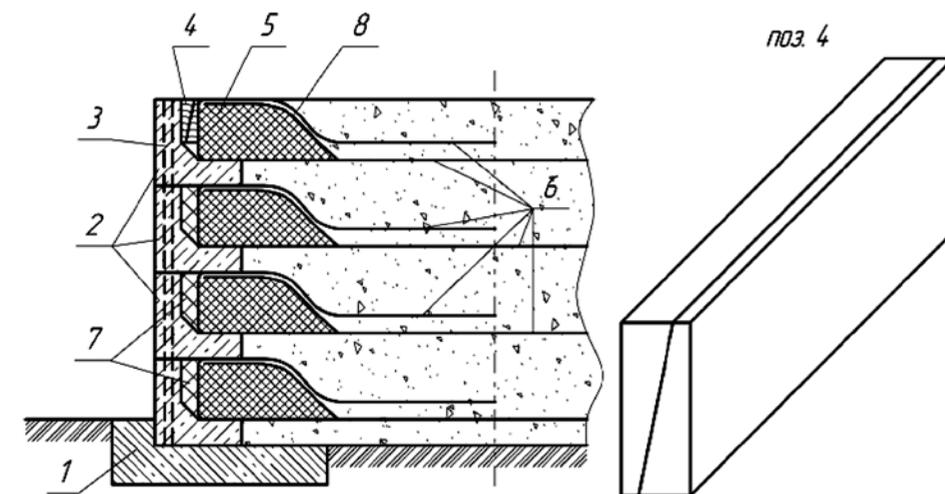


Рис. 1.5. – Лицевая стенка из сборных ж/б блоков с армирующими элементами из георешетки PVA (поливинилалкоголь):

- 1 – фундамент; 2 – сборные ж/б блоки; 3 – овальное отверстие под стальной арматурный стержень; 4 – деревянные щиты (инвентарные); 5 – щебеночные призмы; 6 – геотекстиль PVA; 7 – заполнение зазора керамзитом или щебнем;
- 8 – разделительный дренарующий нетканый материал

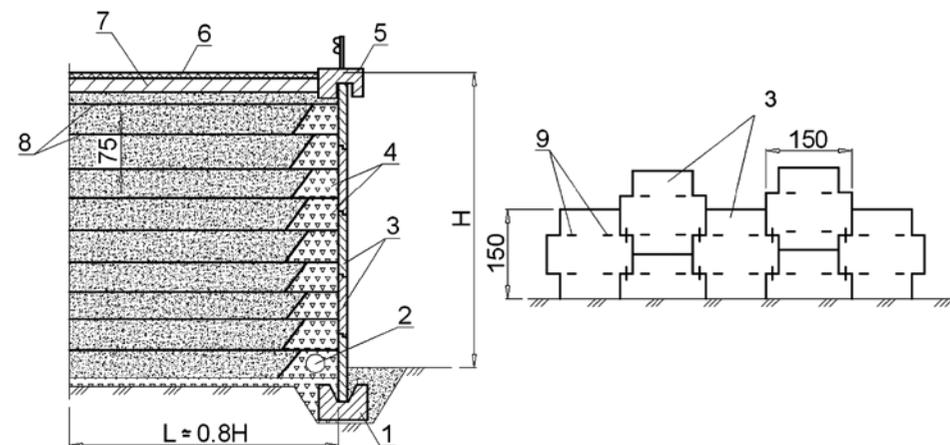


Рис. 1.6. – Вариант армогрунтовой подпорной стены с железобетонными сборными блоками лицевой стенки:

- 1 – монолитный железобетонный фундамент; 2 – дренажная труба; 3 – железобетонные блоки лицевой стенки; 4 – щебеночные призмы застенного дренажа; 5 – монолитный шапочный брус; 6 – асфальтобетон; 7 – бетонная подготовка; 8 – армирующие элементы; 9 – закладные детали крепления армирующих элементов

л) Лицевая стенка собирается из пустотелых бездонных сборных железобетонных ящиков, устанавливаемых вразбежку. Внутри ящика имеются перегородки жесткости. Ящики заполняются гравием, фракции которого должны быть подобраны так, чтобы они заклинивались в ячейках плоской георешетки PVA (поливинилалкоголь), нейтральной к воздействиям щелочной среды бетона (рис. 1.7). Заклиниванию решетки способствует вес вышележащего щебня. Ящики с обратной стороны свариваются пластинами по закладным деталям, расположенным у краев ящиков. С внешней стороны острые края должны иметь кромки; швы разделяются цементным раствором. Похожую конструкцию бездонных ящиков, только в монолитном варианте, предложил А. В. Тяпочкин в своей диссертации [81]. В сравнении с блоками С. Г. Жорняка, блоки с прямоугольными пустотами менее материалоемки. Однако сборная конструкция, предложенная в НИЦ «Мосты», удобнее для транспортировки.

м) Лицевая стенка складывается из мелких вибропрессованных камней, которые могут иметь любую окраску и фактуру под естественный камень (рис. 1.8). Камни крепятся к слою железобетона, заделанному анкерами в армогрунтовую систему. Формирование армогрунтовой системы выполняется с помощью инвентарных стабилизаторов, состоящих из сваренных арматурных стержней и деревянных щитов, обеспечивающих вертикальность торцевой части армогрунтовой системы.

н) Лицевая стенка сформирована из крупногабаритных вибропрессованных бетонных камней, имеющих ребристые горизонтальные грани (рис. 1.9). Анкерующие элементы в виде арматурных каркасов, имеющих поперечные элементы, заземляются в ребристых поверхностях блоков.

о) Лицевая стенка сформирована из железобетонных блоков, в которые при бетонировании закладываются цилиндрические элементы из металлических труб, создающих сквозные цилиндрические полости в блоках. Эти полости заполняются щебнем, а армирующий материал в виде георешеток из поливинилалкоголя закладывается между рядами блоков и заклинивается щебнем, а также весом вышележащих рядов. Материал Fortrac PVA используется в виду его индифферентности к щелочной среде бетона. Эти блоки разработаны в лаборатории земляного полотна и верхнего строения пути ЦНИИС под руководством заведующего лабораторией, кандидата технических наук С. Г. Жорняка (рис. 1.10)

Для отвода воды из обратной засыпки устраивается упорно-дренажный анкер, конструкция которого показана на рис. 1.11. Высота щебеночного анкера соответствует высоте слоя уплотняемого песка. Как показал опыт, оптимальной является высота 50 см. Ширина щебеночного анкера поверху составляет также 50 см. Щебень отсыпается слоями по 10–15 см разных фракций с учетом расклиновки. Уплотнение осуществляется ручными виброплитами.

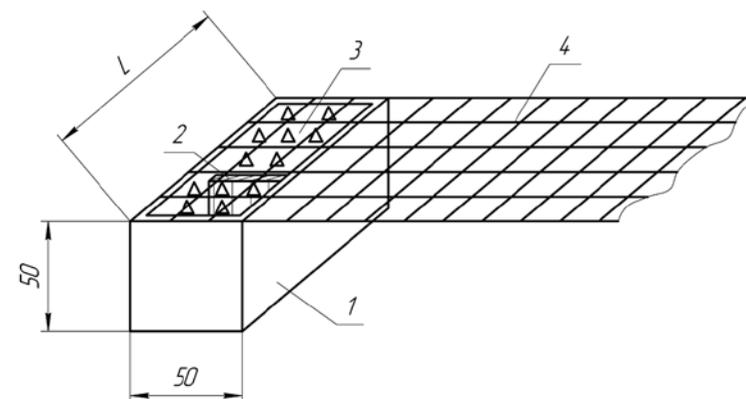


Рис. 1.7. – Лицевая стенка из полых ж/б сборных ящиков:

- 1 – сборный ж/б бездонный ящик. Толщина стенок ~10 см;
- 2 – перегородка жесткости;
- 3 – щебень;
- 4 – плоская георешетка PVA

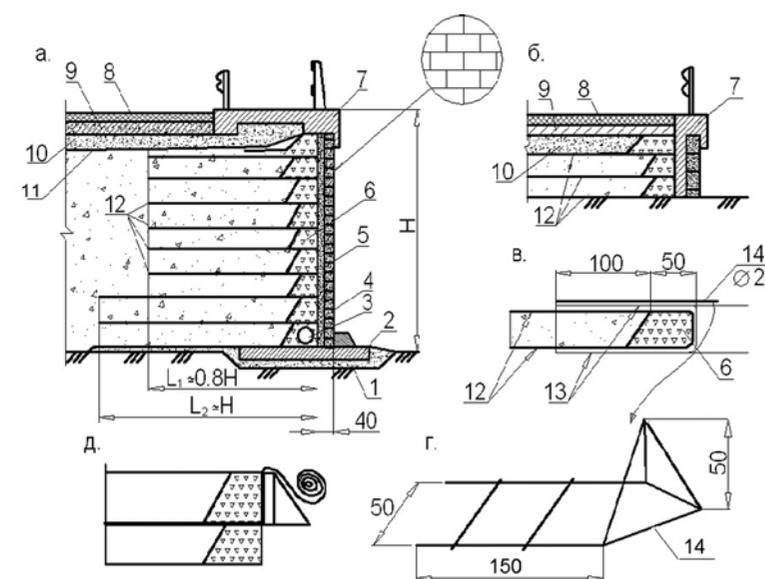


Рис. 1.8. – Армогрунтовая подпорная стена с лицевой стенкой в виде железобетонной плиты с облицовкой стенными камнями из вибропрессованного бетона:

- а. – поперечный разрез подпорной стены; б. – вариант устройства верхней части;
- в. – пристенный узел армогрунтовой конструкции; г. – арматурный каркас-стабилизатор; д. – установка опалубки армогрунтовой конструкции.
- 1 – подготовка из гравия; 2 – плиты ПАГ; 3 – дренажная труба; 4 – стеновые блоки облицовки; 5 – армированная плита; 6 – щебеночные призмы застенного дренажа;
- 7 – монолитный железобетон; 8 – асфальтобетон; 9 – бетонная подготовка;
- 10 – щебень; 11 – изопласт; 12 – армирующие прослойки из ровинговой ткани марки ТР-07; 13 – обертка из дорнита; 14 – арматурный каркас-стабилизатор

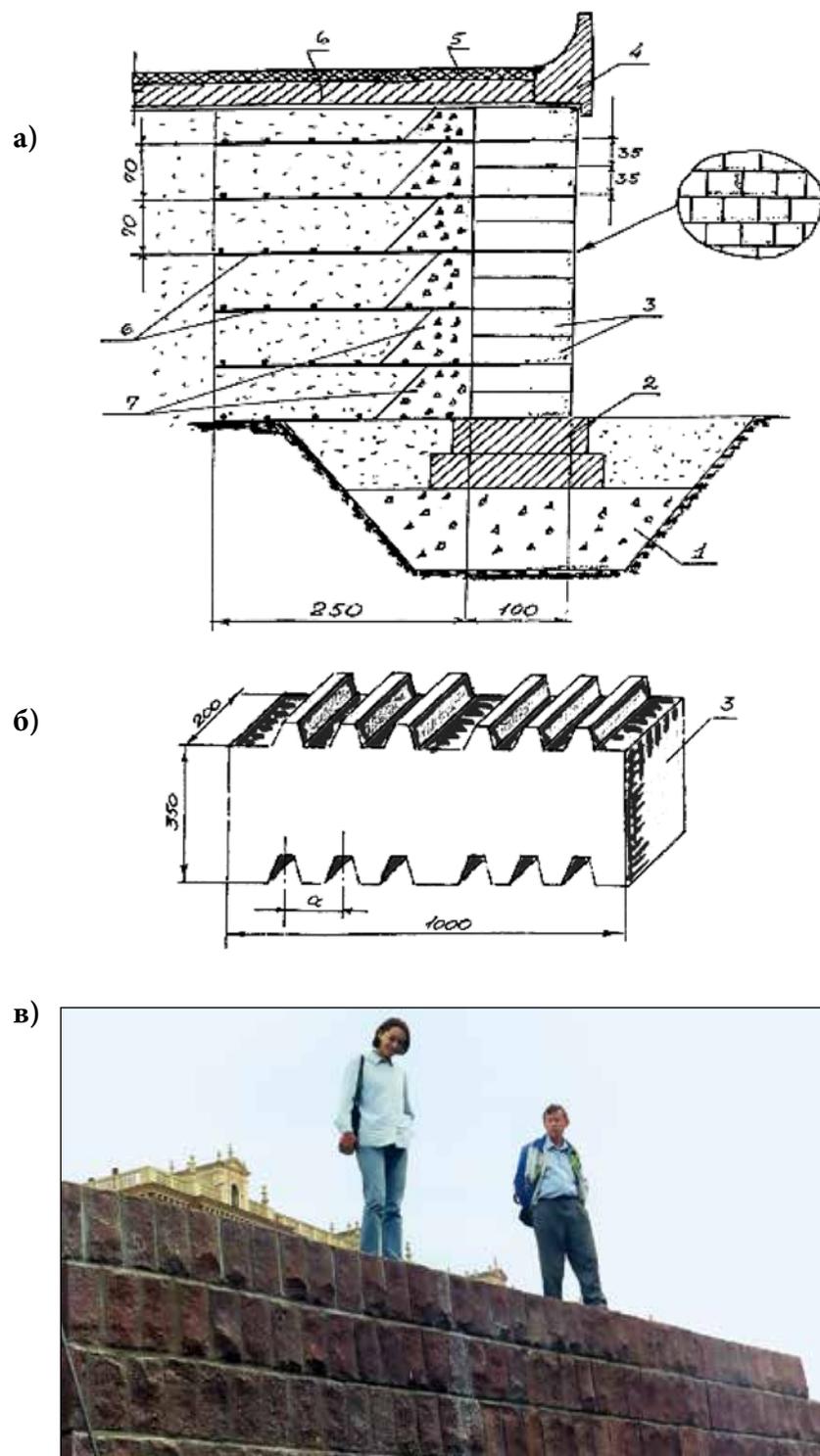


Рис. 1.9. – Лицевая стенка (а) из крупногабаритных вибропрессованных камней (б); готовая часть стены (в)

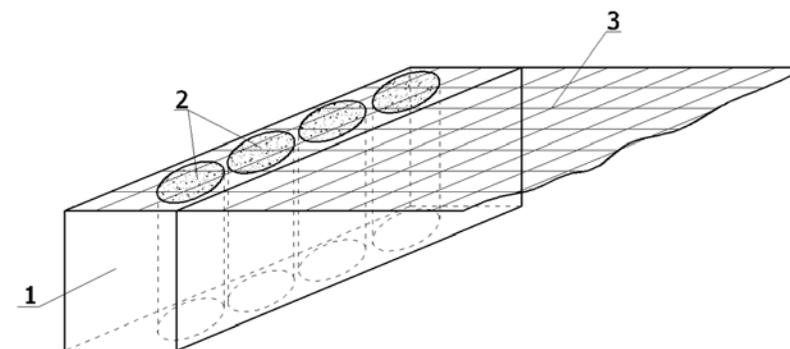


Рис. 1.10. – Железобетонный блок конструкции С. Г. Жорняка:

- 1 – железобетонный блок;
- 2 – цилиндрические сквозные полости, заполненные щебнем;
- 3 – георешетка Fortrak PVA

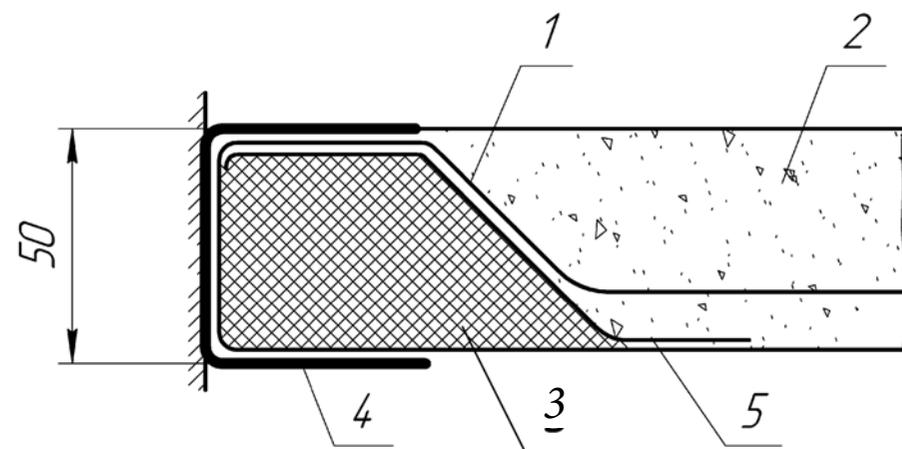


Рис. 1.11. – Устройство дренажной призмы:

- 1 – армирующая геоткань PES;
- 2 – песок;
- 3 – щебеночная призма;
- 4 – дорнит;
- 5 – разделительный фильтрующий материал (нетканый)

При возможном контакте с бетоном геотекстиль из полиэстера должен быть отделен от бетона дорнитом и полиэтиленовой пленкой. Щебень должен быть изолирован от песка разделительным фильтрующим нетканым материалом, не подвергающимся быстрой кольматации. Длина анкерной части армирующего полотна должна составлять не менее 3,0 м.

§ 1.4. Виды армирующих элементов

Существует и применяется на практике множество видов армирующих элементов. Наиболее распространенные из них показаны на рис. 1.12.

а) Стержни либо полосы из нержавеющей стали или защищенные от коррозии горячей оцинковкой, обмазкой битумом, или защищенные синтетической пластиковой «рубашкой».

К достоинствам этого вида армирующих элементов относится их высокая прочность, малая деформативность.

К недостаткам относится малая площадь трения с грунтом, что требует увеличения длины стержней и ухудшает экономические показатели конструкции.

б) Арматурные каркасы, сваренные из арматурной стали, диаметр которой подбирается расчетами. Арматурные каркасы имеют два продольных стержня, к которым привариваются поперечные стержни. Приварка поперечных стержней должна выполняться не контактной сваркой, а сваркой с помощью продольных швов. Готовый каркас подвергается горячей оцинковке, обмазке битумом и обмотке геосинтетической тканью на битумной мастике – для увеличения площади трения (рис. 1.13). Все соединения должны соответствовать условию равнопрочности.

в) Георешетки, как правило, выполненные из синтетических материалов: полиэстер, поливинилалкоголь, полипропилен, полиэтилен, композитные материалы. Георешетки поставляются в рулонах, имеющих разную ширину и длину.

г) Синтетические высокопрочные ткани.

§ 1.5. Фундаменты лицевых стенок*

1.5.1. Требования, предъявляемые к фундаментам

а) Фундаменты лицевых стенок должны обеспечивать равномерную передачу нагрузок от веса лицевых стенок на грунт основания.

б) Максимальная величина давления от фундамента на грунт не должна превышать допустимой величины сопротивления грунта.

в) Эксцентриситет равнодействующей внешних сил e , действующих на фундамент не должен превышать $2/3r$, где r – радиус ядра сечения подошвы фундамента.

* При написании этого параграфа использовались материалы А. Н. Солодунина.

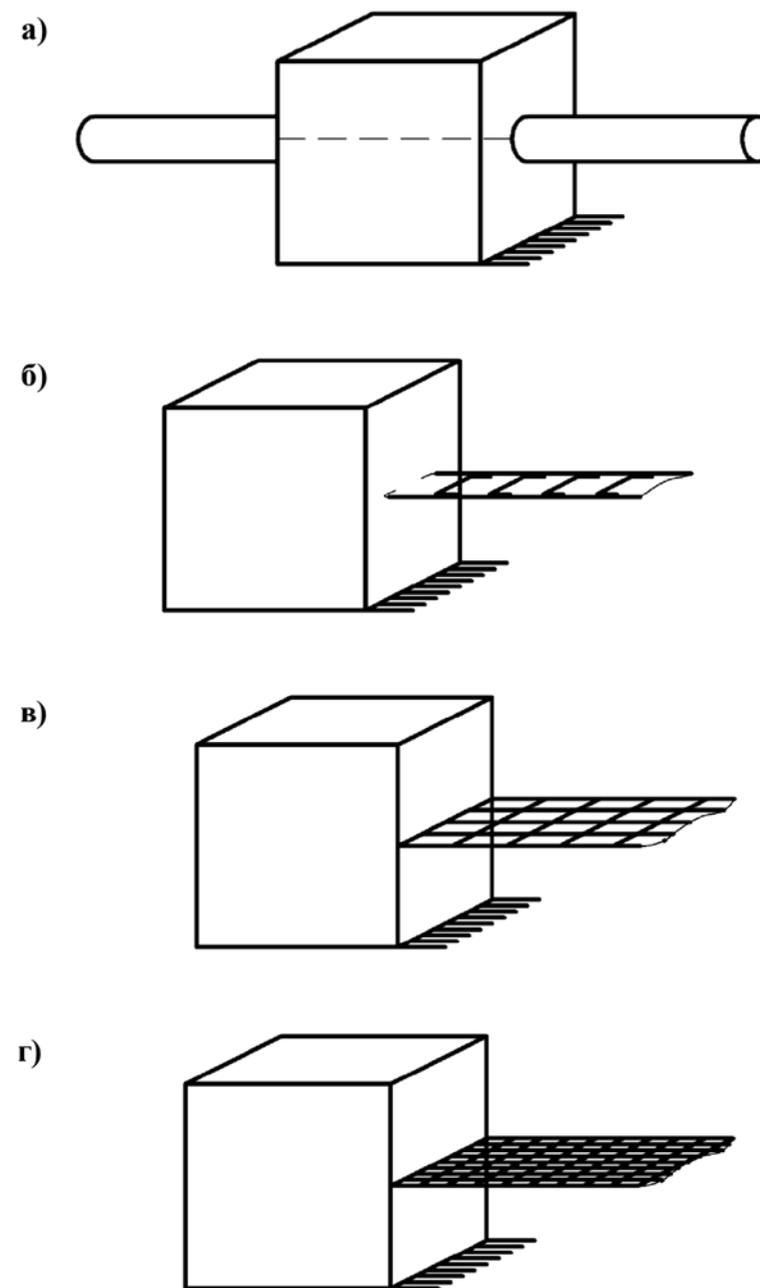


Рис. 1.12. – Типы армирующих элементов:

а) стержни; б) арматурные каркасы; в) георешетка; г) геоткань

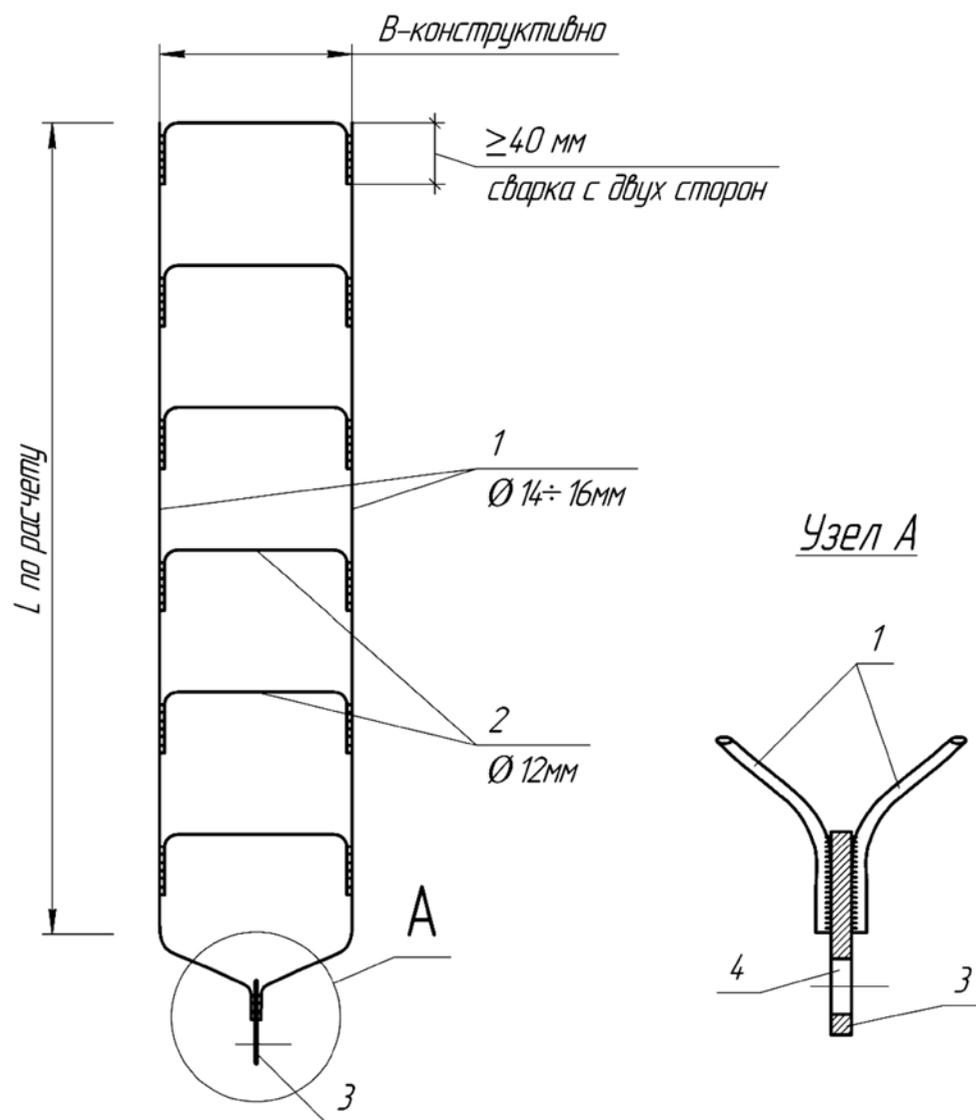


Рис. 1.13. – Анкерующий элемент в виде арматурного каркаса.
 Все детали после сварки оцинкованы ($\Delta = 50$ мкм), обмазаны битумом и обклеены геосинтетической тканью на битумной мастике:

- 1 – продольные стержни (\varnothing по расчету);
- 2 – поперечные стержни $\varnothing \approx 12$ мм;
- 3 – серьги для крепления к облицовочной стенке (оцинкованные);
- 4 – отверстие для болта

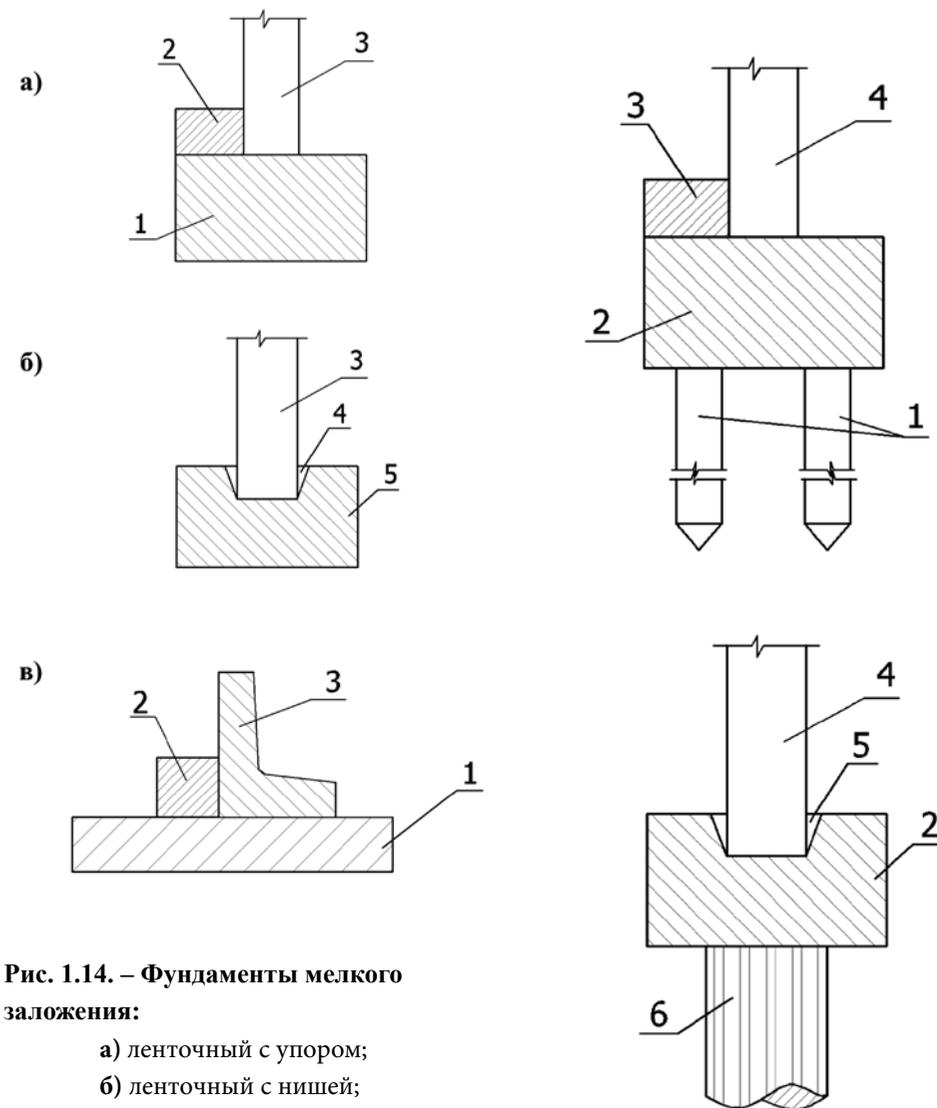


Рис. 1.14. – Фундаменты мелкого заложения:

- а) ленточный с упором;
- б) ленточный с нишей;
- 1 – железобетонный фундамент ленточный;
- 2 – железобетонный упор;
- 3 – лицевая стенка;
- 4 – ниша в фундаменте;
- 5 – железобетонный фундамент ленточный с нишей
- в) фундамент плитного типа
- 1 – железобетонная плита;
- 2 – блок лицевой стенки;
- 3 – железобетонный упор

Рис. 1.15. – Фундаменты свайные:

- 1 – сваи железобетонные (призматические или круглые);
- 2 – железобетонный ростверк;
- 3 – железобетонный упор;
- 4 – лицевая стенка;
- 5 – ниша в ростверке;
- 6 – буровые сваи

г) При неоднородных по несущей способности и деформативным свойствам грунтах вдоль фундамента, он должен быть разделен деформационно-осадочными швами, как и лицевая стенка.

д) Фундаменты мелкого заложения могут быть устроены в виде ленточных или плитных конструкций.

е) При недостаточной несущей способности верхних слоев основания или при наличии слоистых оснований с прослойками слабых грунтов (текучепластичные суглинки, текучие супеси, тиксотропные грунты и т. п.) следует устраивать свайный фундамент.

ж) Все поверхности железобетонных фундаментов, контактирующие с грунтом, должны быть обмазаны горячим битумом в два слоя.

1.5.2. Конструкции фундаментов лицевых стенок

а) Фундаменты мелкого заложения

Фундаменты мелкого заложения представляют собой железобетонные конструкции, выполняемые в сборном или монолитном вариантах, и состоят из самого фундамента и упора. Фундамент может быть ленточного или плитного типа с устройством железобетонных упоров для фиксации установки сборных железобетонных блоков лицевой стенки на фундаменте (рис. 1.14, 1.15).

При устройстве ниши в фундаменте под установку сборного железобетонного элемента лицевой стенки устройство упора не требуется. Сборный железобетонный элемент лицевой стенки заделывают бетоном, укладываемым в нишу фундамента.

Железобетонные упоры устраивают после установки сборного элемента лицевой стенки на фундамент путем омоноличивания вертикальных выпусков арматуры из фундамента и устанавливаемого дополнительного продольного пространственного арматурного каркаса.

При монолитных железобетонных фундаментах необходимо укладывать щебеночную подушку с проливкой цементным раствором под его подошвой. Подушка выполняется из фракционного щебня и устраивается методом расклиновки.

Сборные железобетонные элементы лицевой стенки следует устанавливать на фундамент на цементном растворе.

б) Фундаменты глубокого заложения

Фундаменты глубокого заложения состоят из свайных элементов, ростверка и упора. Сваи могут быть забивными или буровыми (рис. 1.15).

Забивные сваи могут выполняться различного поперечного сечения, определяемого расчетами. Сваи могут быть призматическими, круглыми, пирамидальными и т. д. Сваи должны быть забиты до расчетного отказа под расчетную нагрузку, определяемого проектом.

Буровые сваи могут выполняться с уширенной пятой или без нее. Поперечное сечение, армирование, отметка подошвы сваи определяются расчетами.

Ростверк выполняется из железобетона, омоноличивающего арматурные выпуски из свайных элементов и арматурный каркас самого ростверка.

В ростверке должны быть установлены вертикальные арматурные выпуски под упор или под монолитный железобетонный элемент лицевой стенки.

В случае использования сборных элементов лицевой стенки в ростверке устраивается ниша с последующим ее омоноличиванием.

Все железобетонные элементы должны быть рассчитаны на прочность и трещиностойкость.

Конструктивные требования по расположению свай, фундаментов, ростверков и армированных железобетонных элементов содержатся в соответствующих нормативных документах.