

## ПРИМЕР УЧЕТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИ НАХОЖДЕНИИ РЕШЕНИЙ ПО УСТРОЙСТВУ ГЕОТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР

Геотехногенные структуры, среди которых по масштабному признаку выделяются геотехногенные поля, массивы и блоки, подробно описаны в [Мельников Б.Н., Мельников Ю.Б., 1998; Рекомендации, 1986]. Здесь отметим только то, что сутью устройства геотехногенной структуры является преобразование природной структуры массива горных пород таким образом, при котором новые целевые функции, накладываемые на такие массивы, будут выполнены. Решения по устройству геотехногенных структур и их практическая реализация осуществлялись применительно к районам распространения элювиальных грунтов (Урал), просадочных грунтов (Предкавказье), осадочных морских и аллювиальных грунтов (Западная Сибирь). В связи со строительством перегрузочного комплекса МПС в порту Темрюк на Азовском море возникла необходимость устройства геотехногенного массива (ГТМ) на территории распространения илистых дельтовых отложений.

Перегрузочный комплекс МПС в порту Темрюк представляет собой площадку длиной 420 м, ширина ее изменяется от 100 до 160 м. В геоморфологическом отношении площадка располагается в пределах современной дельты р.Кубани, представляющей низменную аккумулятивную заболоченную равнину, формирование которой происходило под воздействием речных и морских факторов. В геологическом отношении площадка расположена в пределах Западно-Кубанского прогиба [Инженерная геология СССР. Том восьмой]. Геологический разрез представлен отложениями черноморского горизонта, подстилаемыми погребенными отложениями террас р.Кубани. Черноморский горизонт, перекрываемый насыпными грунтами и слоем современной почвы, разделяется на новочерноморские и древнечерноморские слои. Новочерноморские слои представлены слоями морской глины (средняя мощность – 1.4 м) и песка (мощность – 3.2 м), подошва этой пачки располагается на отметках –6.0+–7.6 м. Древнечерноморская толща включает отложения морской иловатой гли-

ны, подошва которых располагается на отметках –15.5+–19.5 м, и подстилается слоем пылеватого песка мощностью около одного метра.

Иловатые глины – это очень пористые, водонасыщенные, сильно уплотняемые во времени грунты. Есть много свидетельств того, что, в силу особого состояния грунтовой влаги, отжатие ее из грунтов требует большого времени, поэтому в краткие периоды устройства геотехногенного массива происходит очень незначительное уплотнение грунтов [Дашко Р.Э., Каган А.А. 1977].

У нас имеется положительный опыт устройства геотехногенных структур в подобных грунтах. Применительно к условиям устройства названных структур нами была уточнена классификация видов грунтовой влаги [Мельников Б.Н., Мельников Ю.Б., 1998], в которой особое внимание уделено иммобилизованным ее формам. Это та влага, которая заключена в порах и других полостях и по степени взаимодействия с поверхностью твердых частиц является свободной, но, будучи замкнутой со всех сторон, она имеет малую возможность перемещения. Устья таких пор могут быть закрыты как твердыми компонентами, так и влагой в разной степени связанной с поверхностью. Поэтому в разных порах и иных полостях влага иммобилизована не одинаково, что дает основание выделять разные виды иммобилизации. Разработанные нами технологические приемы направлены на то, чтобы в период устройства ГТМ, степень иммобилизации влаги, находящейся в «пограничных» условиях иммобилизации, максимально уменьшить. В то же время технология обеспечивает перевод влаги, которая не была отжата в период устройства ГТМ массива, в иммобилизованное состояние – после его устройства.

В таких случаях используются подходы, основанные на изменении начального гидравлического градиента [Дашко Р.Э., Каган А.А., 1977; Цытович Н.А., 1963]. Структура массива изменяется таким образом, что путь миграции

влаги искусственно увеличивается, следствием чего является снижение гидравлического градиента. В случае снижения его до значений, меньших начального гидравлического градиента, грунтовая влага оказывается в искусственно иммобилизованном состоянии, и развитие деформаций происходит при отсутствии либо малой значимости процессов фильтрационной консолидации.

Основным средством преобразования структуры было принято образование жестких искусственных тел посредством нагнетания в толщу грунта цементно-песчаного раствора и его дальнейшее затвердевание. Эффективность технических решений строительных объектов, устраиваемых в виде ГТМ, определяется рациональностью системы его структур. Общая схема ГТМ, приведенная на рисунке, принята в виде наиболее оптимальной трехслойной структуры. *Верхняя часть* представляет собой горизонтальный несущий элемент, включающий железобетонную плиту и щебеночную подготовку. Он устраивается в пределах залегания насыпных грунтов, почвенно-растительного и новочерноморских слоев, с учетом наличия относительно хорошо уплотняемых и упрочняемых слоев песка. *Средняя часть* массива устраивается в пределах древнечерноморской толщи, представленной иловатыми глинами. Подстилающий указанные иловатые глины слой песка, усиленный нагнетанием цементно-песчаного раствора, и аллювиальные суглинки природного сложения погребенных отложений террас р.Кубани образуют *нижнюю часть* ГТМ (рис.).

Разработка технических решений по устройству ГТМ в условиях распространения иловатых дельтовых глин и отработка технологий потребовало решения ряда научных задач. Геотехногенный массив (ГТМ) зачастую воспринимается как некоторый набор конструктивных и технологических решений, которые эффективно проявили себя в определенных инженерно-геологических, экономических и прочих условиях. Это служит поводом для применения такого набора решений в иных условиях, что совершенно недопустимо. Решения по устройству ГТМ необходимо разрабатывать на основе единой системы принципов, изложенных в [Мельников Б.Н., Мельников Ю.Б., 1998; Рекомендации, 1986] с учетом конкретных условий. Предыдущий опыт позволял оценить отдельные инженерно-геологические особенности пло-

щадки строительства. Однако в системе, имеющейся на площадке, такие условия были встречены впервые. Поэтому возникла необходимость решения следующих вопросов:

- определение условий отжатия неиммобилизованной влаги и влаги, находящейся в «пограничном» состоянии по степени иммобилизации;
- определение характера раскалывания грунтового массива, представленного текучепластичными студнеобразными телами, а также форма образуемых жестких тел и их пространственная упорядоченность в грунтовом массиве;
- разработка классификации геокомпозитивов, достаточной для представления всех решений геотехногенных массивов, включая решения, разработанные на описываемой площадке.

**Условия отжатия неиммобилизованной влаги.** Уплотнение иловатых глин осуществляется за счет отжатия только слабоиммобилизованной влаги, объем которой ограничен. Опытным путем было установлено, что при однократном нагнетании первоначальный объем грунта сокращается на 5%. Ранее нами было установлено, что многократное приложение нагрузки позволяет увеличить степень уплотнения подобных грунтов в два раза по сравнению с уплотнением при однократном нагружении. Степень уплотнения может быть увеличена за счет приложения ударных нагрузок, при которых происходит растворение микропузырьков газа. Восстановление этих микропузырьков происходит в течение длительного времени, при котором происходит дополнительное отжатие слабоиммобилизованной влаги. Однако, для практического использования этих эффектов необходима разработка специального оборудования. Увеличение степени уплотнения грунта может быть достигнуто также за счет сокращения путей миграции грунта при устройстве дренажных и водопонижающих скважин. Водопонижающие скважины при этом также увеличивают гидравлический градиент. Однако, при имеющемся оборудовании устройство таких скважин является дорогостоящим мероприятием, и они были исключены из схемы технических решений.

**Характер раскалывания грунтового массива, форма образуемых жестких тел и их пространственная упорядоченность в грунтовом массиве.** Иловатые глины, являясь осадочными образованиями, характеризуются слоистой текстурой с горизонтально расположенными слоями, что должно оказывать влия-

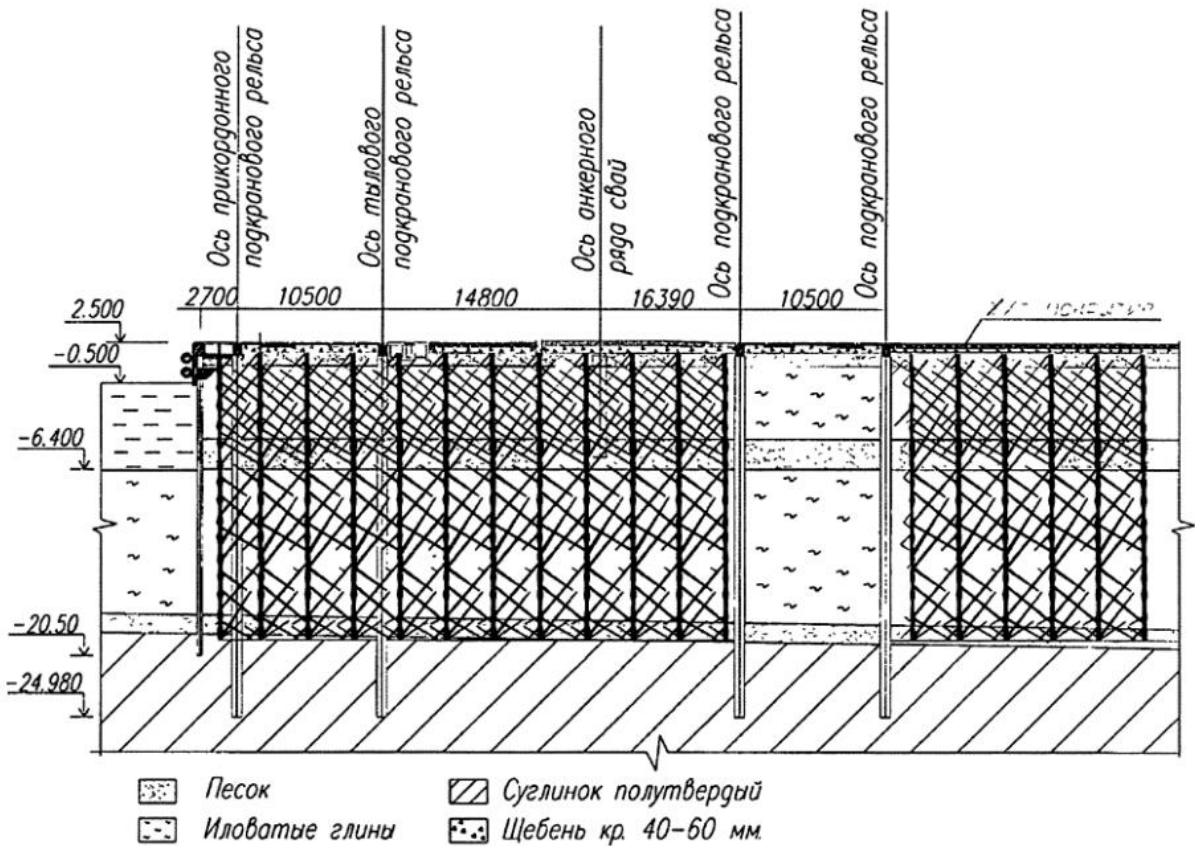


Схема структуры геотехногенного массива.

ние на характер распределения раствора. По консистенции эти породы представляют пластические тела, в которых возможно образование тел неправильной формы, ориентировка которых определяется многими факторами. При определенном сочетании скорости запредельного деформирования и скорости релаксации напряжений эти текучепластичные студнеобразные породы могут деформироваться как твердообразные тела по определению П.А. Ребиндера [Ребиндер П.А., 1966], т.е. раскалываться как твердые тела в соответствии с пространственным расположением главных напряжений. Специально проведенными опытными работами было установлено, что при определенной скорости нагнетания, обеспечивающей существенное превышение скорости деформирования над скоростью релаксации напряжений, иловатые водонасыщенные глины, распространенные на площадке строительства перегрузочного комплекса, раскалываются как твердые тела

по плоскостям отдельности, располагающимся под углом, близким  $45^\circ$  к оси скважины и их система образует структуру штокверка. В такой схеме раскалывания определенную роль играет иммобилизованное состояние большей части грунтовой влаги, когда иммобилизующие влагу структуры грунта являются практически несжимаемыми, что приводит к концентрации напряжений по отдельным плоскостям.

При преобразовании природной структуры массива в геотехногенную структуру это имеет принципиальное значение, поскольку схема работы массива с горизонтально расположенными техногенными включениями и с включениями, образующими штокверк, принципиально различна. Учитывая различие начального гидравлического градиента, следует ожидать значительного проявления релаксационных процессов, которые могут существенно уменьшить вероятность проявления схемы раскалывания массива как твердообразного тела и уве-



личить вероятность его раскалывания по горизонтальным отдельностям. Первая схема раскалывания является благоприятной для формирования весьма эффективной коробчато-ячеистой структуры. Поэтому, режим нагнетания был определен таким образом, чтобы он благоприятствовал формированию названной структуры.

Установленный характер деформирования может быть обобщен и развернут в систему различного сочетания факторов. Каждое такое сочетание представляется определенным видом структуры, а система таких сочетаний может быть использована при раскрытии генезиса естественных геологических объектов, образовавшихся при осадконакоплении, развитии магматических очагов и пр.

**Классификация геокомпозитов.** При оценке эффективности взаимодействия всех элементов ГТМ, он рассматривается как геотехногенный композит (**геокомпозит**). В таких структурах жесткие техногенные элементы оказывают стабилизирующее влияние на грунт, который в теории композитов определяется как матрица. С учетом этого влияния, в соответствии с положениями теории композитов, определяются *эффективные физико-механические характеристики*, которые существенно выше фактических характеристик, присущих грунту (матрице). При разработке решений по устройству ГТМ важное значение имеет нахождение рациональных сочетаний между жесткостными характеристиками включений и матрицы. Увеличение жесткости включений выше некоторого предела практически не влияет на эффективные характеристики матрицы и всей системы в целом. В таком случае целесообразно либо использовать включения меньшей жесткости, либо усилить матрицу.

Таким образом, условиями возможности рассмотрения ГТМ как композитов являются – наличие жестких *включений*, а также *обжатие* всех элементов системы, обеспечивающее надежное *взаимодействие* их друг с другом. Ослабленные локальные участки массива, трещины и прочие дефекты также могут рассматриваться как включения с жесткостью, меньшей, чем жесткость матрицы. С учетом сказанного, многие неоднородные *природные грунтовые массивы могут рассматриваться как природные композиты*.

Обжатие грунтового массива при устройстве ГТМ позволяет использовать стабилизирующие влияния не только включений, но и

оконтуривающих тел. В нашем случае это подстилающие горизонты суглинков, характеризующиеся более высокими показателями физико-механических свойств, чем иловатые глины. Учитывается также стабилизирующая роль железобетонной плиты, забитых свай и погруженного шпунта.

Сказанное относится к композитам, основной взаимодействия которых является матрица, назовем его **матричный геокомпозит**. Эффективные характеристики определяются степенью влияния их на матрицу, характеристики самих включений непосредственно не учитываются, они проявляются опосредованно, через влияние на характеристики матрицы в соответствии с положениями [Кристенсен Р., 1982; Рекомендации, 1986]. Кроме того, при нагнетании цементного раствора происходит изменение самой матрицы за счет упрочнения и уплотнения грунтов. *Упрочнение грунтов* связано с возрастанием структурных связей по всей его структурной сетке. В том случае, когда структурные связи возрастают в локальных зонах, можно говорить об образовании включений в этих зонах. В нашем случае увеличение структурных связей за счет цементации иловатых глин невозможно. Упрочнение матричного геокомпозита достигается только за счет образования отдельных изолированных тел малого размера при проникновении раствора в локальные зоны смятия, трещины и микротрещины.

Важное практическое значение имеет другой тип геокомпозитов, в котором включения взаимодействуют не только с матрицей, но и образуют самостоятельную структурную сетку – каркас, за счет взаимодействия включений друг с другом. Назовем их **каркасными геокомпозитами**. В нашем случае каркас формируется двумя типами включений: а) вертикальными элементами, образуемыми за счет заполнения скважин и обжатия грунта околоскважинного пространства; б) пластинчатыми телами, образующими структуру штокверка. Для формирования названных включений требуется нагнетание определенного объема цементно-песчаного раствора. Только часть этого объема приходится на уплотнение грунта, другая часть вызывает подъем поверхности, что учитывается при разработке решений по устройству железобетонной плиты.

Сочетания структур матричных и каркасных геокомпозитов могут быть представлены с

помощью в различной степени завершенных структурных сеток [Рекомендации, 1986]. В таких сочетаниях нередко основой массива являются каркасные геокомпозиаты, а матрица может быть представлена матричными композиатами. Возможны и другие схемы сочетания названных видов композиатов, например включения могут быть представлены отдельными блоками каркасных геокомпозиатов. Все эти сочетания определяются как **каркасно-матричные геокомпозиаты**, а конкретный характер сочетания представляется в их моделях.

В заключение отметим, что предложенная нами классификация геокомпозиатов при соответствующем ее развертывании может быть использована для обобщенной количественной оценки разных видов взаимодействия и эффективности их проявления при различном сочетании значимых факторов.

*Список литературы*

*Дашко Р.Э., Каган А.А.* Механика грунтов в инженерно-геологической практике. М.: Недра, 1977. С. 111–132.

*Кристенсен Р.* Введение в механику композиатов. М.: Мир, 1982. 334 с.

Инженерная геология СССР. Том восьмой. Кавказ, Крым, Карпаты. М.: Изд. МГУ, 1978. С. 160.

*Мельников Б.Н., Мельников Ю.Б.* Проблемы методологии исследования геотехногенных структур. Екатеринбург: УрО РАН, УГТУ, 1998. 304 с.

*Ребиндер П.А.* Физико-химическая механика дисперсных структур // Физико-химическая механика дисперсных структур. М.: Наука, 1966. С. 3–16.

*Рекомендации по расчету, проектированию и устройству систем «основания-фундаменты» зданий и сооружений в виде геотехногенных массивов.* Первая редакция. Свердловск: Уральский промстройини-ипроект, 1986.

*Цытович Н.А.* Механика грунтов. М.: Госстройиздат, 1963. С. 149–152.