

УТОЧНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАСЫПИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

Кузахметова Э.К., д-р техн. наук
(Российская Открытая Академия Транспорта
Российский Университет Транспорта)

Для совместного расчета насыпи автомобильной дороги и слабого основания была разработана специальная методика индивидуального проектирования учеными: Амаряном Л. С., Евгеньевым И.Е., Казарновским В.Д., Яромко В.Н. и др. Несмотря на учет в этой теории разнообразия свойств слабых грунтов, основные ее принципы не позволяют в полной мере оценивать «механический отклик» грунтовой среды на действие внешних нагрузок. Исследования автора посвящены учету изменений природных условий залегания грунтов при прогнозе их деформаций на техногенные (в результате возведения сооружения).

Последние годы существенно осложнились условия строительства линейных транспортных сооружений. Это связано: – с расширением строительства в труднодоступных районах страны; – с необходимостью использования местных грунтов, которые, как правило, переувлажнены, в качестве строительного материала и основания; – с увеличением нагрузок от транспорта и интенсивностью движения, то есть с увеличением техногенного воздействия; – с повышением требований к качеству строительства и к охране окружающей среды.

Необходимость обоснованного учета при проектировании сооружений перечисленных факторов ставит перед учеными множество задач. Сложность их решения заключается в том, что теоретические основы типового и индивидуального проектирования линейных транспортных сооружений разрабатывались в 60-80-ые годы прошлого столетия. Многие из них используются до настоящего времени. Поэтому с особой остротой несовершенств ряда методов классической механики грунтов проявилось в связи с комплексом

новых факторов и условий, влияющих на поведение грунтов, основные из которых перечислены выше.

При индивидуальном проектировании любого сооружения проводится совместный расчет сооружения и основания. Вместе с тем, надежность такого расчета в полной мере не обеспечивается из-за недостаточной точности прогноза осадок, особенно при неоднородном геологическом строении основания и при залегании слабых грунтов. Уже в 80-ые годы прошлого столетия Гольдштейн М.Н. отметил, что этот вопрос является одним из краеугольных камней методики совместного расчета сооружения и основания.

Решению некоторых проблем в этом направлении были посвящены многолетние исследования автора. Рассмотрен существующий подход к определению фильтрационных и деформационных свойств слабых грунтов. Поскольку фильтрация (отжатие поровой воды при уплотнении грунта) нас интересует для прогноза осадки во времени, то проанализированы две схемы испытания грунтов: на фильтрацию и консолидацию.

Схема испытаний на фильтрацию: фильтрация воды через образец грунта цилиндрической формы в жесткой обойме полностью водонасыщенного (под давлением, создаваемым столбом воды) за счет разностей напоров в пьезометрических трубках при неизменной пористости грунта.

Описание фильтрации воды по закону Дарси в полностью водонасыщенном грунте с поправкой на начальный градиент имеет вид:

$$V = K_{\Phi}(J - J_0) \quad (1)$$

где V – скорость фильтрации;

K_{Φ} – коэффициент фильтрации;

J – градиент напора;

Схема испытаний на консолидацию: сжатие образца грунта цилиндрической формы в жесткой обойме (под давлением, передаваемым через жесткий штамп) за счет фильтрации воды и изменения пористости грунта.

Описание фильтрации воды по закону фазовой фильтрации Герсеванова имеет вид:

$$V_{\phi} = V - eV_{ck} = K_{\phi}^1 \cdot \frac{\partial(u/v_p)}{\partial z} \quad (2)$$

где V_{ϕ} – (фазовая) скорость перемещения воды при уплотнении грунта;

V – скорость фильтрации воды;

e – коэффициент пористости;

V_{ck} – скорость перемещения частиц скелета грунта;

K_{ϕ}^1 – коэффициент фильтрации при одномерной консолидации;

$\frac{\partial(u/v_p)}{\partial z}$ – изменение давления в поровой воде.

Из выше описанных схем испытаний и из выражений (1) и (2) видно, что при расчетах по ним коэффициент фильтрации будет получен различным, поскольку при испытаниях по приведенным схемам, в первый из них происходит движение одной фазы (напряженное состояние грунта), во второй – двух фаз (напряженно – деформированное состояние грунта).

Автор рассчитала коэффициенты фильтрации по результатам испытаний образцов торфяного грунта ненарушенной структуры, маловолокнистого, средней влажности по двум указанным выше схемам. Коэффициент фильтрации, определенный по данным из опыта на консолидацию (под нагрузкой 0,1 МПа), получен равным 0,01 см/сут., а определенный из опыта на фильтрацию идентичного образца получен равным 0,8 см/сут. Следовательно, K_{ϕ} и I_0 правильнее использовать при решении непосредственно фильтрационных задач при изменении гидравлического градиента, а K_{ϕ}^1 – при решении инженерных задач в части прогноза осадки сооружения под нагрузкой от веса сооружения. Но в этом случае, необходим критерий начала фильтрационно-консолидационного процесса, а не фильтрационного.

С этой целью, автор рассматривает взаимодействие двух подсистем в общей системе «сооружение-основание». Первая подсистема – сооружение, вторая – грунт основание (при возведении насыпи на слабых грунтах). Или первая подсистема – стабильный слой насыпи, вторая – нестабильный слой насыпи (при использовании глинистых грунтов с влажностью выше допустимой). В результате анализа взаимного влияния указанных подсистем при неразрывной их связи

автор предлагает в качестве нового критерия сжимаемости грунтов и фильтрации поровой воды «нагрузку начала фильтрационной консолидации». Физическая сущность этого критерия заключается в том, что в случае его превышения действующими напряжениями, в слое возникнут напряжения больше структурной прочности грунта на сжатие и возникнет градиент напора больше начального градиента фильтрации.

Не трудно проследить, что предлагаемый критерий учитывает воздействие первой подсистемы на вторую, поэтому может быть назван техногенным. Если напряжение в слое грунта превышает величину нагрузки начала фильтрационной консолидации, то этот слой работает в условиях открытой системы по условию дренирования. Если напряжение в слое грунта меньше величины нагрузки начала фильтрационной консолидации, то этот слой работает в условиях закрытой системы по условию дренирования. Условия открытой и закрытой системы по условиям дренирования (отжатие поровой воды в процессе уплотнения) должны учитываться при выборе формул для прогноза осадки во времени, при выборе схемы испытаний грунтов в лаборатории, при назначении дополнительных мероприятий для ускорения осадки (см. рисунок 1).

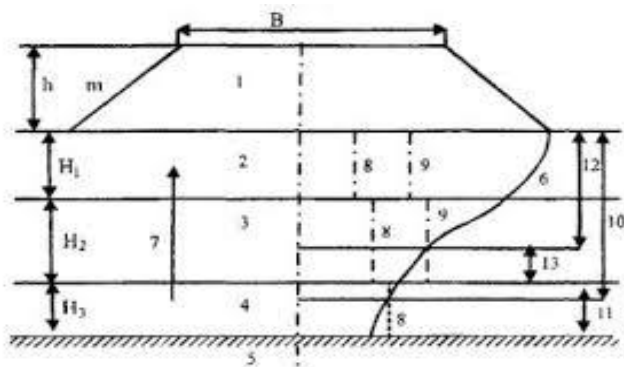


Рис.1. Расчетная схема насыпи на слабом основании:

1 – насыпь; 2,3,4 – слои основания, однородные по напряженно-деформированному состоянию; 5 – водонепроницаемый подстилающий слой; 6 – эпюра вертикальных напряжений от веса насыпи; 7 – условия дренирования; 8 – эпюра структурной прочности грунта на сжатие; 9 – эпюра нагрузки начала фильтрационной консолидации; 10 – активная зона; 11 – пассивная зона; 12,13 – открытая и закрытая системы

Очевидно, что при таком подходе следует составлять модель консолидации грунта не в природных условиях, а в условиях его работы в системе, которую можно назвать «сооружение – техногенное основание». Это связано с тем, что в современный век техногенеза влияние деятельности человека на природную среду является весьма важной и актуальной. Именно поэтому автор обратила внимание на необходимость учета влияния возведения сооружения на изменение природных условий залегания грунтов на техногенные. Часть из выше изложенных предложений вошла в Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах.

Анализ характера статического уплотнения грунтов в основании под нагрузкой от веса насыпи показал так же, что следует более углубленно рассматривать характеристики сжимаемости слабых грунтов. Это касается коэффициента пористости, который является объемной характеристикой грунта как в его природном состоянии, так и в объемном напряженно-деформированном под нагрузкой от веса сооружения. За основу его определения в механике грунтов принята фазовая модель грунта, в соответствии с которой надо определить геометрический объем пор и твердой фазы. Повидимому, для характеристики физических свойств грунта такой оценки вполне достаточно, а для механических свойств – нет. Для достоверного прогноза осадки необходимо знать «работающую» пористость, участвующую в процессе сжатия, то есть «активную», а не «пассивную» (замкнутые поры, прочно связанная вода и др.). О необходимости учета активной пористости грунта при решении инженерных задач отмечали многие ученые (Ларионов А.К., Зарецкий Ю.К., Осипов В.И. и др.), в том числе и автор при прогнозе осадки. По Ларионову А.К. в процессе сжатия грунта участвует «частичная активная» пористость, под которой подразумевается объем пор, исчезнувших при уплотнении под той или иной степенью нагрузки. Следовательно, «активная» пористость грунта может быть определена непосредственно из опыта на компрессию по величине деформации.

Такой подход к оценке пористости грунта повышает точность прогноза осадки, особенно для органических грунтов, которые имеют сложную геометрию порового пространства, предопределяющей возникновение локальных областей замкнутых пор.

В современных условиях строительства надежное проектирование может быть осуществлено только в результате соединения научных методов и инженерных принципов строительной деятельности, то есть в результате усиления роли геотехники. Поскольку геотехника базируется на законах механики грунтов (уплотнения, сопротивления сдвигу, фильтрация) и закономерностях, определяющих характер деформируемости грунта (при увлажнении, динамических, температурных и иных воздействиях, напряжённом состоянии), то изложенные выше результаты исследований и были посвящены рассмотрению механических характеристик фильтрации и сжимаемости грунтов.

С целью учета особенностей характера деформируемости различных видов слабых грунтов при уплотнении от веса сооружения (насыпи автомобильной дороги) в инженерной практике автор проанализировала время достижения требуемой степени консолидации и интенсивности осадки слабых грунтов в основании, величины которых регламентированы в действующем нормативном документе для установления срока устройства дорожной одежды. Для всех видов слабых грунтов в СП 34.13330.2012 в качестве критерия завершения интенсивной части осадки дано значение 90% степени консолидации и интенсивности осадки 2 см в год для дорожных одежд капитального типа и 80% степени консолидации, 5 см в год для дорожных одежд облегченного типа. Модуль осадки минеральных, органоминеральных и органических грунтов отличаются в 10 и более раз, поэтому, по мнению автора, не корректно назначать одну величину критерия (степени консолидации или интенсивность осадки) для всех видов слабых грунтов. Проведенные расчеты времени достижения требуемой степени консолидации и интенсивности осадки показали следующее. Для минеральных грунтов это время совпадает; для органических грунтов время достижения требуемой интенсивности осадки превышает более чем в 2 раза время достижения требуемой степени консолидации; для органоминеральных грунтов время достижения этих критериев изменяется неоднозначно в зависимости от их состава и состояния. В связи с выше отмеченным, автор предлагает внести соответствующие исправления в нормативный документ. При назначении технологического перерыва между окончанием возведения насыпи и устройством дорожной одежды принимать в качестве критерия достиже-

ния интенсивной части осадки для минеральных грунтов – степень консолидации, для органоминеральных грунтов определять оба критерия и ориентироваться на наибольшее время, для органических грунтов – интенсивность осадки. Вышеуказанные научно-обоснованные критерии позволят обеспечить работоспособность дорожной одежды, поскольку они исключают возможность проявления недопустимых деформаций дорожного покрытия. В этом подходе так же учитывается взаимное влияние двух подсистем в системе «сооружение – техногенное основание».

Заключение

1. В результате техногенного воздействия грунт в основании сооружения может оказаться в открытой или закрытой схеме по отжатию воды, независимо от расположения слоя дренирующего грунта, то есть от природных условий дренирования. Для оценки создавшихся условий механического отжатия поровой воды в процессе возведения насыпи предлагается новый критерий, наряду с некоторыми существующими.

2. В итоге выделяются слои, работающие в разных условиях, а именно в условиях открытой и закрытой системы. Для прогнозирования процесса осадки в первом случае применяются формулы, учитывающие скорость фильтрационного отжатия поровой воды; во втором случае – интенсивность деформации объемной ползучести (консолидации объемной ползучести).

3. Рассмотрение физической сути консолидации слабых грунтов под нагрузкой от веса сооружения позволило предложить новый технологический регламент устройства дорожной одежды для различных видов слабых грунтов, который обеспечивает её работоспособность.

4. Необходимость учета при назначении конструкции насыпи и мероприятий для обеспечения её стабильности не только специфики поведения грунтов в каждом конкретном случае, но и техногенного воздействия на них заставляет ученых перейти от традиционных (классических) понятий, представлений и показателей свойств к новым. Их разработка, обоснование, введение дополнительных оценочных критериев и расчетных формул, а также моделей поведения грунта с учетом влияния воздействия на него сооружения можно расценить как развитие «технологического направления» в

прикладной механике грунтов и техногенного направления в современной геотехнике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. Изд. Информавтодор, М., 2004, (Кузахметова Э.К., Казарновский В.Д., Львович Ю.М. и др.).

2. Кузахметова Э.К. Учет взаимодействия инженерного сооружения и грунта на основе критериев сжимаемости и осадки. Труды XVI Международного конгресса по механике грунтов и геотехническому строительству. Япония. 2005.

3. Справочная энциклопедия дорожника. Т. V. Проектирование автомобильных дорог. Изд. Информавтодор, М., 2007.

4. Кузахметова Э.К. Усовершенствование методологии прогноза осадки системы «сооружение – грунтовое основание». Ж. «Основание, фундаменты и механика грунтов» №6, М., 2011.

5. Кузахметова Э.К. Современные тенденции в области транспортного строительства и формы научного обеспечения их реализации. Сборник докладов 1-ой научно-практической конференции (25-26 ноября 2014 г., ИПСС МИИТ). «Современные способы создания искусственных грунтовых оснований автомобильных дорог, аэродромов и зданий» Изд. ООО «Техполиграфцентр».

6. Кузахметова Э.К., Григоренко Н.И. Поднятие научного уровня технического сопровождения проектирования, строительства и реконструкции инженерных сооружений. Международная конференция Евразийского Союза ученых (ЕСУ 2(23)). Технические науки, 2016.

7. Кузахметова Э.К. Развитие техногенного направления в инженерной геотехнике с целью учета при проектировании сооружения его влияния на грунтовое основание. Сборник трудов 2-ой научно-практической конференции с международным участием (27 апреля 2017 г., ИПСС МИИТ). «Пути обеспечения совместной работы инженерного сооружения специфических грунтов». Изд. «Миаком» г. Санкт-Петербург, 2017.