

Зміну коефіцієнта об'ємної в'язкості залежно від величини об'ємної деформації показано на рис. 2. Функція $\eta(\epsilon)$ є зростаючою від $|\epsilon|$. Чим більше значення η_D , тим вище розміщується крива $\eta(\epsilon)$. Однак зі збільшенням η_D швидкість зростання функції $\eta(\epsilon)$ зменшується. Так, при $\eta_D = 10^2$ Па·с значення відношення $(\eta(\epsilon_{\max}) - \eta_D) / \eta_D$ дорівнює 29, а для $\eta_D = 10^4$ Па·с це відношення дорівнює всього 4 (тут $\eta(\epsilon_{\max})$ – значення коефіцієнта в'язкості при максимальній об'ємній деформації).

Наведені результати свідчать про доцільність виконання розрахунків зі змінним коефіцієнтом в'язкості для ґрунтів з широким діапазоном зміни фізико-механічних характеристик і різних вибухових речовин з метою урахування отриманих особливостей деформування при розробленні інженерних формул.

1. *Ляхов Г.М.* Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах. – М.: Наука, 1982. – 286 с.

2. *Моделирование в динамике* неводонасыщенного грунта твердой пористой многокомпонентной вязкопластической средой // И.А. Лучко, Г.М. Ляхов, В.А. Плаксий, Н.С. Ремез. – Киев, 1983. – 37 с. (Препринт / АН УССР, Ин-т проблем прочности. 83.87).

3. *Михалюк А.В.* Горные породы при неравномерных динамических нагрузках. – К.: Наук. думка. – 1980. – 154 с.

4. *Ляхов Г.М.* Модель льда и снега для описания волновых процессов // Задачи механики гляциологии и геокриологии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 37 с.

5. *Ляхов Г.М.* Модель мерзлых грунтов для описания волновых процессов // Термомеханика грунтов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 28 с.

6. *Лучко И.А., Плаксий В.А., Ремез Н.С. и др.* Механический эффект взрыва в грунтах / Под ред. И.А. Лучко. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.

7. *Плаксий В.А., Ремез Н.С.* Распространение цилиндрических взрывных волн в многокомпонентной вязкопластической среде с переменной вязкостью // Прикладная механика. – 1992. – 28. – № 10. – С. 29–35.

УДК 624.131.23

О РЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

А.М. Самедов, докт. техн. наук (НТУУ «КПИ», ИЭЭ)

Запропоновано модель лесового ґрунту, яка відображає його реологічний стан в період утворення та розвитку просадочного процесу.

Просадочные деформации в лессовых грунтах можно рассматривать как следствие взаимодействия двух нестационарных процессов – инфильтрации влаги и смещения структурных агрегатов при уплотнении. Динамика просадочного процесса при такой постановке задачи однозначно определяется динамикой насыщения толщи грунта инфильтрационной влагой. Отсюда вытекает, что просадка лессового грунта зависит от его влажности, а степень влажности – от продолжительности увлажнения.

Проведенные нами натурные наблюдения в Мингечауре, Сумгаите, Гяндже, Казахе, Днепропетровске, Запорожье и Донецке, а также комплексные экспериментальные исследования в условиях лабораторных, штамповых и полевых испытаний показывают, что процесс просадки лессовых грунтов развивается во времени в более медленном темпе, чем процесс инфильтрации, и не всегда начинается с момента поступления влаги в грунт.

Стабилизация просадочного процесса наступает по истечении определенного времени после прекращения увлажнения толщи грунтового слоя. Происходит своеобразное запаздывание процесса образования новых структур относительно продвижения фронта увлажнения.

Отсюда вытекает, что механизм возникновения структурных деформаций в просадочных лессовых грунтах при их увлажнении обуславливается взаимодействием влаги, находящейся в порах, с минеральными частицами, претерпевающими агрегатные изменения в условиях определенного напряженного состояния. Здесь происходят сложные физико-химические, механические, минералогические и физические процессы, результатом которых является возникновение и развитие реологических процессов – нарастание пластических деформаций во времени при постоянных влажности и нагрузке (явление ползучести). Были проведены эксперименты, позволяющие получить семейство кривых просадки (ползучести) при постоянных напряжениях, семейство кривых напряжения при постоянных значениях деформаций просадки (релаксации), а также зависимости напряжений от деформации для определенных значений времени. В процессе эксперимента влажность грунта сохранялась постоянной. Наблюдения за изменением деформации просадочных грунтов в компрессионных приборах велись в течение 30 суток. По их результатам строились графики изменения относительной просадки во времени для каждой серии испытаний. Испытания выполнялись на 4-х сериях образцов-близнецов, взятых на разных глубинах скважин в Запорожье: I – серия 20 образцов-близнецов из глубины 5 м; II – серия 24 образцов-близнецов из глубины 10 м; III – серия 25 образцов-близнецов из глубины 15 м; IV – серия 25 образцов-близнецов из глубины 20 м. Для испытаний были взяты лессовые грунты II типа просадочности.

Использование основных положений теории наследственных сред и реологии, учитывающих в явной форме временную сторону изменения напряжений и деформаций, вызывает определенные затруднения при построении так называемой функции наследственности.

Специфические свойства лессовых просадочных грунтов оказывают сильное влияние не только на входящие в функцию наследственности

постоянные, но и на вид самой функции. Для решения задачи на основе теории наследственности требуется раскрыть физическую сущность наследственности, исходя из микромеханики процесса деформации во времени; построить графики изменения деформаций во времени при постоянных напряжениях и влажности и на основе экспериментальных данных установить зависимости между просадкой, напряжением и временем.

Поведение лессовых просадочных грунтов при увлажнении и сжимающих давлениях характеризуется наследственной ползучестью и реологическими особенностями грунта. Хотя процессы ползучести и реологические процессы при просадке протекают неразрывно, но для анализа механизмов этих сложных физико-химических, механических и химико-минералогических процессов просадки можно условно рассматривать наследственные явления и реологические особенности отдельно, а затем их объединять. Поэтому, не используя при анализе поведения лессового грунта закономерности теории наследственности, рассмотрим реологические особенности просадочного процесса.

Существуют многие реологические модели для описания механизма деформирования грунтов, характеризующего сущность физико-механических и химико-минералогических явлений при напряженно-деформированном состоянии грунтов. Достаточно сложным является правильный выбор из существующих реологических моделей, отражающих природу сложного явления просадки лессового грунта.

Следует отметить, что при исследовании различных физико-механических и химико-минералогических явлений, как правило, выделяются основные факторы, отражающие природу рассматриваемого явления, и устанавливаются допущения, соответствующие принятому идеализированному представлению. Идеализация механических свойств реальных материалов позволяет строить расчетные схемы и достаточно хорошо иллюстрировать различные реологические модели. Применительно к грунтам, например, широко используются модели двух- и трехкомпонентной земляной среды, линейно деформируемой среды, модель кельвина геля в теории уплотнения грунтовой массы, модель упруговязкопластичного тела в механике водонасыщенных грунтов и др.

Реологическая модель лессового грунта впервые предложена Н.Я. Денисовым [1, 2] для объяснения сущности механизма просадочного процесса. Модель Н.Я. Денисова (рис. 1) состоит из пружины с достаточно высоким модулем деформации и заполненного вязкой жидкостью цилиндра, в котором находится поршень с отверстиями. В начальном положении поршень прижат к стенкам цилиндра, что обеспечивает его неподвижность до тех пор, пока пайка не разрушена. Упругие свойства породы отражаются пружиной. Сопротивление перемещению частиц грунта в процессе деформации моделируется сопротивлением поршня при его перемещении в цилиндре с вязкой жидкостью. Сцепление упрочнения грунта моделируется пайкой. Деформации пружины, незначительные из-за высокого модуля упругости, соответствуют упругим деформациям лессового грунта. Структурные

деформации уплотнения характеризуются поведением модели лишь после того, как будет устранено влияние пайки и осуществится пептизация частиц грунта под воздействием химических, физических и минералогических процессов.

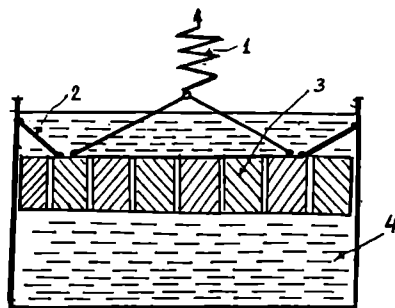


Рис.1. Реологическая модель просадочного грунта (по Н.Я. Денисову): 1 – пружина; 2 – пайка; 3 – поршень; 4 – цилиндр

Реологическая модель лессового грунта, предложенная Н.Я. Денисовым, работает следующим образом: внешняя сила постепенно возрастает до значений, позволяющих разрушить пайку, преодолеть сопротивление вязкой жидкости и резко перевести поршень из состояния покоя в движение. Такое состояние характеризует момент разрушения структурной прочности лессового грунта. Поршень перемещается до тех пор, пока возрастающее (из-за уменьшения размеров отверстий в поршне) сопротивление вязкой жидкости и появление новой пайки не приводит к восстановлению сцепления упрочнения, т. е. возникновению агрегатных новообразований.

Следует отметить ряд недостатков модели Н.Я. Денисова, из-за которых она недостаточно объективно отражает механику просадочного процесса. После разрушения пайки, т. е. преодоления сцепления упрочнения эта модель ведет себя как упруговязкая релаксирующая среда Максвелла, а описание процесса просадки с помощью одного только уравнения состояния этой среды не отражает сущности деформации лессовых грунтов при увлажнении. Кроме того, сопротивление трению при структурных деформациях отражается в этой модели только течением вязкой жидкости, что также не полностью характеризует состояние движущегося грунта, испытывающего и сухое трение по закону Кулона.

В этой модели устойчивость увлажняемого лессового грунта в условиях природного напряженного состояния (сцепления упрочнения) моделируется только пайкой. Между тем прочность лессового грунта обуславливается и первичным сцеплением, создаваемым взаимодействием сил молекулярного притяжения частиц грунта. Кроме того, разрушение пайки, т. е. сцепления упрочнения в данной модели происходит мгновенно, что не соответствует

природе процесса взаимодействия влаги с лессовыми грунтами при их увлажнении. Модель Н.Я. Денисова не отражает особенностей деформируемости увлажняемых лессовых грунтов под действием собственного веса грунта. Кроме того, данная модель не позволяет математически описать суть напряженно-деформируемого состояния среды при неравновесных процессах деформации.

С целью усовершенствования модели Н.Я. Денисова примем следующие допущения:

1) процесс просадки представим как одномерное течение структурных элементов в пределах некоторой области замачивания. Считаем, что в пределах области течения разрыва сплошности среды не происходит, т.е. просадка протекает в пределах «активной зоны» увлажняемого массива;

2) нарушение структурной прочности зависит только от количества влаги и не зависит от изменения направления ее движения в грунте. При построении уравнения процесса просадки это допущение позволяет исходить из одномерного инфильтрационного движения влаги;

3) для того, чтобы отразить постепенный характер нарушения равновесия системы, введем в модель направляющие и ползуны, моделирующие восточную смазку между частицами грунта;

4) упругие свойства грунта при просадке моделируются с помощью пружины не только в вертикальном (по Н.Я. Денисову), но и в горизонтальном направлении, что характеризует сопротивление сдвигу или коэффициент бокового давления увлажняемого грунта с течением времени.

Предлагаемая модель просадочного процесса лессовых грунтов (рис. 2), учитывающая вышеперечисленные допущения, состоит из ряда параллельных вертикально расположенных пружин 4, последовательно соединенных через жесткий блок 5 с поршнем 6, движущимся в цилиндре 7 с вязкой жидкостью, и с ползуном 1, находящимся между двумя направляющими 3, которые прижимаются к криволинейной поверхности ползуна с помощью двух горизонтальных пружин 2, создавая сухое трение и сцепление.

До возникновения процесса просадки модель находится в равновесии и характеризует уплотненное состояние лессового грунта. При этом упругие свойства грунта моделируются вертикальными пружинами 4 и горизонтальными пружинами 2. Горизонтальные пружины моделируют сопротивление сдвигу по закону Кулона. Сила натяжения вертикальных пружин полностью уравновешивается сопротивлением трению вязкой жидкости в цилиндре и сопротивлением сухому трению на поверхности ползуна. Трение, создаваемое вязкой жидкостью, проявляется только после нарушения равновесия системы. При увлажнении лессового грунта вода играет роль смазки между твердыми частицами. Это отражается поверхностными соприкосновениями между направляющими 3 и ползуном 1. Происходит нарушение равновесия системы. При нагружении пружины 4 ползун постепенно опускается вниз. Вертикальное перемещение ползуна с помощью горизонтально расположенного блока полностью передается поршню. С целью соблюдения симметрии движения ползуна при работе поршня предложены два

блока с ползунами, расположенными с правой и левой сторон поршня. Таким образом, когда происходит нарушение равновесия всей системы, в работу включаются упругие (пружины), вязкие (жидкости) и пластичные (ползуны) сопротивления. При этом в двухсторонних блоках с ползунами отношение приращения сил натяжения вертикальных и горизонтальных пружин, характеризующее значение коэффициента бокового давления увлажняемого грунта, увеличивается с течением времени и приближается к единице.

На криволинейном участке поверхности ползуна уменьшение сопротивления сдвигу обуславливается двумя факторами: снижением силы трения и сцепления при увлажнении поверхности ползуна и уменьшением напряжения в вертикально расположенных сечениях образца грунта. Когда направляющие переходят на прямолинейные участки поверхности ползуна, наступает равновесие всей системы. Сила натяжения вертикальных пружин полностью уравнивается сопротивлением трению боковых сторон, вязкой жидкости в цилиндре и сухому трению на поверхности ползуна. Перемещения ползуна с двух сторон цилиндра соответствуют характеру изменения просадки во времени, а форма криволинейной поверхности ползуна отражает закономерность изменения просадки во времени.

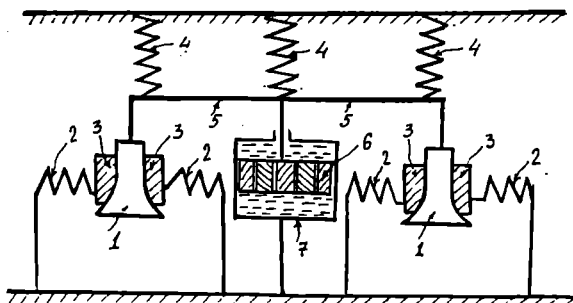


Рис. 2. Реологическая модель просадочного грунта (по А.М. Самедову).

Таким образом, предложенная модель достаточно полно отражает реологическое состояние лессового грунта в период образования и развития просадочного процесса.

1. Денисов Н.Я. О природе деформации глинистых пород. – М.: Речиздат, 1951.
2. Денисов Н.Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. – М.: Госстройиздат, 1956.
3. Самедов А.М. Расчет и проектирование оснований и фундаментов. – Баку: Азерб. гос. изд-во учебно-метод. лит. «Маариф», 1992. – 495 с.