

УДК69.034.93

## К ВОПРОСУ О ДИНАМИКЕ ПРОЦЕССА ЗАГРУЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

**Р.В. ПУЗИКОВ, С.А. КОНОВАЛОВ, Д.Ю. ГРЕК**  
(Представлено: кан. тех. наук Д.Н. ШАБАНОВ)

*Рассмотрены способы, позволяющие повысить прочность грунтов, применяемых в качестве оснований как естественных, так и искусственных, а также в качестве материала для грунтовых сооружений (плотин, дамб, насыпей).*

Грунты с существенной неоднородностью гранулометрического состава широко применяются в качестве оснований как естественных, так и искусственных, а также в качестве материала для грунтовых сооружений. При проектировании оснований и конструкций из неоднородных грунтов в настоящее время используется математический аппарат механики грунтов как однородных сред, что может привести к ошибочным результатам, а порой и к аварийным ситуациям. В действительности грунтовая среда является гетерогенной средой, состоящей из многих компонентов (твердых, жидких, газообразных), в которой распределение напряжений и деформаций неоднородное. В связи с этим представительный объем эквивалентной однородной среды во многом зависит от минералогического и гранулометрического состава и строения грунтовой среды, от соотношений объемов, занимаемых твердой, жидкой и газообразной составляющими. В зависимости от их соотношений физико-механические свойства меняются в широких пределах. Тем не менее представление о грунте как о однородной среде позволило решить многие практические задачи прикладной механики грунтов. Если рассмотреть любое сечение грунтовой среды, то очевидно, что распределение напряжений в нем неоднородное. Осредненное значение напряжений по этому сечению позволяет описать напряженно-деформированное состояние (НДС) в представительном объеме грунта с обобщенными эквивалентными характеристиками деформируемости и прочности грунта в целом. С решением таких задач приходится сталкиваться при проектировании искусственных оснований, грунтовых сооружений, а также при определении прочностных и деформационных характеристик грунтов с существенной неравномерностью гранулометрического состава в естественном состоянии.

В настоящее время теоретическая и прикладная механика грунтов при описании НДС массивов грунтов, взаимодействующих с инженерными конструкциями, использует теорию линейно-деформируемой сплошной однородной изотропной среды. Теория линейного деформирования грунта базируется на предположении о линейном деформировании при однократном нагружении (или разгрузке) в небольшом диапазоне напряжений. Кроме того, при нагружении рассматривается лишь общая деформация грунта без разделения ее на упругую и пластическую составляющие.

Применение методов теории упругости позволило получить точные математические решения для многих упрощенных задач, таких как задача о действии сосредоточенной силы и распределенной нагрузки на полуплоскость и полупространство и др.

В данной работе возникновение цепочек частиц было продемонстрировано с помощью метода фотоупругости в плоском лотке, заполненном фотоупругими дисками. На рисунке 1 представлены фотографии в поляризованном свете.

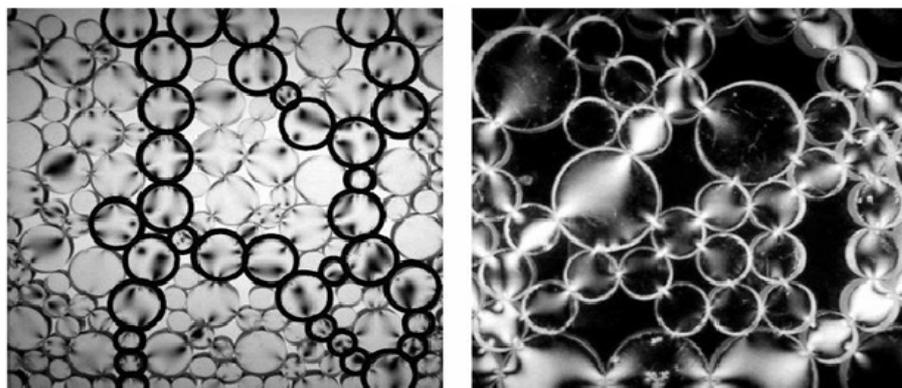


Рис. 1. Распределение напряжений в скелете (фотоупругие элементы)

При этом возникает концентрация нормальных и касательных напряжений на контактах между частицами и вблизи них как при сдвиговом нагружении, так и при всестороннем сжатии, что приводит к

развитию пластических деформаций в условиях компрессии. Это предположение косвенно подтверждает наличие связи между прочностными и деформационными характеристиками грунта.

В зависимости от дорожных условий (горизонтальные участки, прямолинейные в плане, участки с продольным уклоном, участки на кривых в плане, участки на кривых в продольном профиле и др.), а также от режима движения (равномерное движение с постоянной скоростью, ускоренное или замедленное движение и др.) в процессе движения автомобиля по дороге на дорожную одежду действуют различные силы взаимодействия между колесами автомобиля и дорожной конструкцией. К ним относятся силы, нормальные к поверхности проезжей части, и силы, касательные к поверхности проезжей части, которые, в свою очередь, подразделяют на силы, направленные вдоль траектории движения колес, или продольные, и силы, направленные перпендикулярно к траектории движения колес, или поперечные.

Нормальная сила давления колеса (от веса автомобиля), воздействующая на дорожную одежду, является основной расчетной нагрузкой для ее проектирования и расчета на прочность (рис. 2).

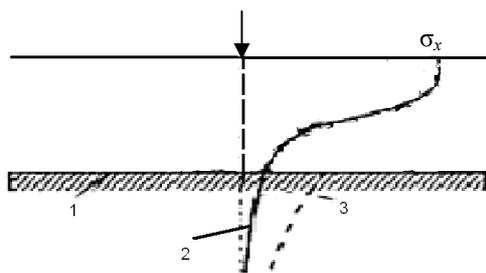


Рис. 2 Напряжения в многослойной дорожной одежде:  
эпюра вертикальных напряжений  $\sigma_v$ ;

1 – подстилающий грунт; 2 – напряжения в дорожной одежде; 3 – напряжения в однородном грунте

Статические и динамические вертикальные (нормальные) и касательные (тангенциальные) силы, передаваемые колёсами транспортных средств через дорожную одежду на земляное полотно, вызывают напряжения и деформации в его теле, вследствие чего земляное полотно изнашивается и разрушается.

При достижении недопустимых напряжений в грунте земляного полотна возникают существенные деформации в виде осадок, расползания насыпей, сползания откосов и т.д. Величина допустимых напряжений в грунте зависит от его физико-механических свойств, которые, в свою очередь, зависят от типа грунта, степени его уплотнения и влажности. Кроме того, под действием природно-климатических факторов могут возникать деформации и разрушения земляного полотна, которые в начальной стадии не оказывают влияния на состояние дорожной одежды. Это различные формы размывов земляного полотна, выдувание обочин и др. Однако эти деформации и повреждения должны быть немедленно устранены, поскольку при дальнейшем их развитии разрушение дороги примет общий характер.

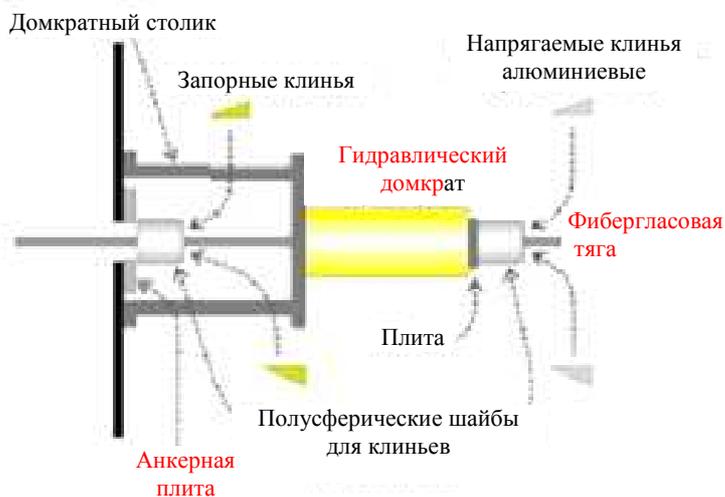
Под деформацией понимают изменение размеров или формы тела без уменьшения его массы и без потери сплошности. Разрушение – это изменение размеров и формы тела с изменением (уменьшением) массы тела или потерей сплошности. В практической деятельности все виды деформаций и разрушений часто относят к дефектам состояния дороги, которые включают в себя также отступления от проектных решений или нормативных требований по геометрическим параметрам, инженерному оборудованию и обустройству дорог, организации и безопасности движения, эксплуатационному состоянию дорог и др.

Причиной возникающих деформаций могут быть проектные ошибки и строительные недостатки, недостатки в содержании и ремонте, условия эксплуатации дорог, природно-климатические факторы. Чаще всего причиной возникновения деформаций является сочетание нескольких из перечисленных факторов, действующих одновременно. На правильно спроектированной, построенной и эксплуатируемой дороге в пределах межремонтных сроков службы дорожных одежд и покрытий не должно быть разрушений (кроме износа покрытий), но могут быть деформации в допустимых пределах. Существуют способы повышения прочностных характеристик естественных грунтов под автомобильными дорогами. Одним из способов является возведение подпорных стенок. Подпорные стены, бетонизируемые на месте строительства, возводят из бетона или с минимальным количеством конструктивной арматуры, а также из железобетона. В ряде случаев возводят подпорные стены комбинированной конструкции, сочетающие монолитную массивную часть со сборными железобетонными элементами. Так, например, в массив стенки можно заделать железобетонные консольные плиты или анкерные элементы. Эти элементы служат одной цели – созданию в стене моментов, обратных по направлению тем, что появляются от давления засыпки. Однако при этом усложняется производство работ. Чтобы предохранить подпорные стены от проникновения в них влаги, со стороны засыпки устраивают дренаж. Кроме того, поверхность под-

порных стен, соприкасающуюся с грунтом, покрывают защитным слоем гидроизоляции из битумной обмазки, наносимой холодным или горячим способом. Прилегающая к стене засыпка должна состоять из крупнозернистого песка или гравия. Изделия из стекловолокна нашли широкое применение в строительстве в качестве арматуры с последующем её преднапряжением. Для этого обязательным условием является наличие концевых захватов. Прототипом может служить фиброгласовый анкер, а методику его установки можно использовать и для стеклопластиковой арматуры (рис. 3, а, б).



а)



б)

Рис. 3. Повышение устойчивости грунтов (а), схема установки (б)

Рассмотрим два вида разрушения подпорных стен: сдвиговое и разрывное. При сдвиговом разрушении предполагается нарушение сцепления армирующих элементов с грунтом и их выдергивание из грунта. Разрывное разрушение наступает от разрыва армирующих элементов при их растяжении.

Нами были найдены величина шага и длина армирующих элементов в зависимости от величины давления грунта на наружную оболочку стенки. Выявлено, что выдергивание армирующих элементов можно предотвратить правильно рассчитанной нагрузкой от собственного веса грунта, а также оптимальным набором сечений и прочностных характеристик армирующих элементов.

Экспериментальные исследования были проведены на моделях подпорной стенки (рис. 4), находящихся под воздействием статической и динамической нагрузок. Место приложения нагрузок и высота

подпорной стенки были величинами постоянными, в то время как длина армирующих элементов и величины нагрузок принимались переменными.

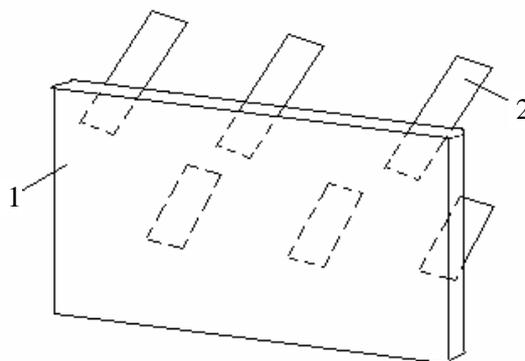


Рис. 4. Схема модели подпорной стенки из армированного грунта  
(1 – наружная оболочка; 2 – армирующие элементы)

Зависимость между напряжениями и деформациями хрупких материалов можно выразить через формулу:

$$e = \frac{1}{E} (\rho + b_1 \rho^2 + b_2 \rho^3 + \dots),$$

где  $E$  – постоянный модуль упругости,  $b_1, b_2$  – опытные коэффициенты.

Эта формула носит название «параболического закона». При малых значениях напряжений  $\rho$ , когда членами, содержащими квадрат и более высокие степени напряжений, можно пренебречь, параболический закон переходит в закон Гука. По данным Тимошенко, формула параболического закона удовлетворяет условиям напряжений для хрупких материалов. Наблюдая деформации хрупких материалов под нагрузкой, можно установить следующие виды деформаций:

- почти мгновенно наступающая обратимая деформация (деформация, подчиняющаяся закону Гука);
- медленно наступающая обратимая деформация, скорость которой уменьшается во времени и которая медленно, но полностью восстанавливается (упруго-вязкое перемещение);
- медленно идущая необратимая деформация, скорость которой уменьшается со временем (вязкое перемещение).

Величину деформаций тела под нагрузкой можно определить по следующей формуле:

$$e = f(\rho) + f_1(\rho, t),$$

где  $e$  – величина общей деформации;  $f(\rho)$  – упругая деформация, совершающаяся почти мгновенно и зависящая только от величины нагрузки  $\rho$ ;  $f_1(\rho, t)$  – остаточная деформация, зависящая как от величины нагрузки  $\rho$ , так и от продолжительности действия этой нагрузки  $t$ .

Продолжительность действия нагрузки имеет большое значение при учете величины деформации тела. По данным Д.С. Ростовцева, деформирование образцов бетона при нормальном давлении продолжается в течение длительного времени. В тесной связи с действием времени находится явление релаксации хрупких материалов, т.е. исчезновение у них способности к сопротивлению к действующим на них нагрузкам, что приводит к явлениям ползучести. Момент перехода твердого тела в пластичное состояние отмечается появлением на поверхности образца так называемых линий Людерса (пластическое состояние тела можно представить себе как скольжение слоев тела по определенным кристаллографическим плоскостям), свидетельствующих о нарушении сил сцепления в теле и о том, что свойства в этот момент будут определяться наличием внутреннего трения, показателем которого является угол внутреннего трения. Для определения этого угла рассмотрим механическую сторону разрушения образца под влиянием сжимающей нагрузки. Возьмем твердое тело с поперечным сечением  $1 \text{ см}^2$ .

Представим себе, что данное тело подвергается действию сжимающих сил  $\rho$ .

Сила, действующая в плоскости площадки и стремящаяся сдвинуть одну часть тела относительно к другой, равна

$$\rho_1 = \rho \cdot \sin \theta.$$

Этому сдвигу сопротивляются две силы:

- внутренняя тангенциальная сила, являющаяся следствием сцепления части тела, равная  $\frac{C}{\cos\theta}$ ,

где  $C$  – сила сцепления на 1 квадратную единицу поперечного сечения тела;

- тангенциальная сила трения, равная  $f \cdot \rho \cdot \cos\theta$ , где  $f$  – коэффициент трения.

Для интерпретации моделей используется методика, согласно которой изменение свойств внутри одного смесового треугольника ( $W$ ) отображается в базовых точках (центроидах) другого треугольника ( $V$ ). Элементом процедуры является построение треугольной диаграммы, «состав – свойство» в каждой базовой точке. Модель «состав – свойство», отображаемая на такой диаграмме, следует из модели «состав – состав – свойство» при постановке в нее фиксированных значений соответствующей группы смесовых факторов.

Таким образом, величина насыпной плотности смешанного вяжущего зависит от межчастичных контактных взаимодействий, поэтому анализ смесей порошков должен производиться с обязательным учетом соотношения сил сцепления между частицами и их массой, что достигается при правильном решении задачи оптимизации фракционного состава дисперсных смесей

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Амелина, Е.А. Изучение некоторых закономерностей формирования контактов в пористых дисперсных структурах / Е.А. Амелина, Е.Д. Шукин // Коллоидн. журн. – 1970. – Т. 32, № 6. – С. 795–800.
2. Безухов, Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – М.: Высш. школа. 1961. – 537 с.
3. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. – М.: Высш. шк., 1978.
4. Гольдштейн, М.Н. Механические свойства грунтов / М.Н. Гольдштейн. – М.: Стройиздат, 1971. – 367 с.
5. Денисов, Н.Я. Инженерная геология / Н.Я. Денисов. – М.: Госстройиздат, 1960.
6. Друккер, Д. Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование / Д. Друккер, Б. Прагер // Определяющие законы механики грунтов / под ред. Николаевского. – М., 1975. – С. 166–167.

УДК 666.972.164

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНОЙ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

**В.А. ЛЕОНОВИЧ**

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ)

*Исследуется проблема проектирования состава бетонной смеси с обеспечением заданной подвижности в момент её укладки в опалубку. Рассмотрен вариант обеспечения заданной подвижности путём увеличения сохраняемости удобоукладываемости на основе применения химических добавок в бетонные смеси.*

Ориентировочно исходная подвижность бетонных смесей с добавкой суперпластификатора может быть определена [1, с. 41] по формуле:

$$OK_{исх} = OK \cdot K_T \cdot K_{II}, \quad (1)$$

где  $OK$  – заданная подвижность смеси при её укладке в конструкцию, см;  $K_T, K_{II}$  – коэффициенты, учитывающие влияние соответственно способов транспортирования и подачи смеси на изменение её подвижности.

Необходимое количество автотранспортных средств для транспортировки бетонных смесей может быть определено из следующего выражения:

$$N = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{T_6} + 1, \quad (2)$$

где  $T_1$  – продолжительность загрузки автотранспортных средств, мин;  $T_2$  – время нахождения автотранспортных средств в пути от завода товарного бетона до стройплощадки и обратно, мин;  $T_3$  – время маневрирования автотранспорта, мин;  $T_4$  – время выгрузки бетонной смеси из автотранспортных