

УДК 624.131

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ

Кулачкин Б.И., Радкевич А.И., Митькин А.А., Шмидт Д.Д.
Институт по проектированию транспортных сооружений
«Транспроект», г. Москва, Россия,
«ТрансКапСтрой», г. Москва, Россия

Рассмотрены наиболее важные аспекты механики грунта, которые пока не нашли широкого применения в практике геотехники, включая: модель «Геомассив–основание–фундамент–сооружение»; аналого-дискретную модель грунта; эффект «Кулачкина-Радкевича»; капиллярную модель грунта; классификацию грунта; поровое давление, природное (бытовое) давление.

The most important aspects of soil mechanics which weren't used in geotechnical practice are considered, including: "Geosolid – Bed – Basement – Object" model, analogue-discrete subgrade model, Kulachkin-Radkevich effect, capillary subgrade model, soil classification, interstitial pressure, ground (natural) pressure.

Модель «Геомассив – основание – фундамент – сооружение». Эта модель существенно расширяет область применения традиционной модели «основание – фундамент – сооружение» как в части механики грунта, так и в окружающей среде. Наиболее ярко новая модель проявляет себя в транспортном строительстве, когда имеют место линейно протяженные сооружения (мосты, путепроводы и др). В частности, эта модель рассматривает каждую опору

большого и среднего моста как отдельное сооружение [1, 2]. Проектировщики и строители в Московском регионе широко используют модель «Геомассив – основание – фундамент – сооружение», причем «ТрансКапСтрой» уже более 5 лет на всех объектах.

При строительстве моста через р. Ликова (Московский регион) основание одной из опор содержало реликтовый врез, который существенно снижал прочность основания [3]. В результате пришлось вносить изменения в проект.

Еще один яркий пример. Мостовой переход через р. Волга у с. Пристанное длиной более 20 км. Рассматривать проект или его часть без модели «геомассив – основание – фундамент – сооружение» практически невозможно.

Модель «Геомассив – основание – фундамент – сооружение» имеет широкие возможности для своего развития в отношении окружающей среды, когда природные условия и технология существенно влияют на проекты в части геотехники [4]. Здесь следует отметить широко используемый за рубежом Observation Method в геотехнике окружающей среды [5]. В качестве примера применения данного метода в геотехнике можно привести коррекцию проекта на развязке Дмитровского шоссе в Москве, когда была произведена замена забивных свай на буронабивные по ряду экологических и геотехнических причин [6].

Аналого-дискретная модель грунта. Все известные модели грунта, широко используемые в механике грунтов – аналоговые (непрерывные). На самом деле грунт – аналого-дискретная среда [7, 8, 9, 10]. Наиболее ярким представителем такой среды является просадочный грунт.

Процесс просадки грунта очень сложно контролировать в строительной практике. И хотя предпринимается много различного рода попыток описать этот процесс аналитически, на основе непрерывных функций, результат нельзя признать положительным [8]. В том, что грунт, основание, геомассив являются аналого-дискретной средой, можно легко убедиться, посмотрев на диаграммы зондирования (аналоговая регистрация) в различных источниках [9, 10].

Если рассматривать с общих позиций механики, то все известные модели грунта, а также др. строительных материалов (сталь, бетон, полимер и др.) основаны на 3-х идеальных телах: Гук (Н) –

упругость, Ньютон (N) – вязкость, и Сен-Венан (Stv) – сухое трение в их различных сочетаниях и интерпретациях, и, естественно, являются аналоговыми (непрерывными), но что касается грунта, то он вполне укладывается (современные научные представления) в рамки теории предельного равновесия и др. На первый взгляд это действительно так. Вместе с тем исследования, выполненные в 80-х годах прошлого века и позднее, включая зондирование, показали, что это совсем не так [11, 12]. Именно зондирование и в общем глубокое исследование измерительных систем [13] позволило получить эти принципиально новые результаты [14, 15]. Если иметь в виду реальные модели грунта, то они наделены различного рода свойствами, полученными экспериментальным путем [16]. Существование этих результатов заключается в следующем. Практически все статические процессы заканчиваются измерением некоего конкретного значения перемещения (деформации), нагрузки (напряжение, давление).

Что касается динамики, анализа и соотношения инерционных характеристик объекта исследования и измерительной системы не было ни в РФ ни за рубежом. Необходимое соотношение было реализовано в измерительных системах для статического зондирования [1, 2]. Это позволило обнаружить дискретность грунта во всем диапазоне нагрузок, начиная даже практически с нуля. Таким образом, на базе практически «безинерционных» измерительных систем по отношению к грунту, получена новая информация о прочности грунта в широком понимании этого термина. В дополнение к идеальным аналоговым телам N , H и Stv добавлено идеальное хрупкое тело «Кулачкин-Радкевич» (KR) [17, 18], которое, с нашей точки зрения, в полной мере решает вопрос поведения грунта под нагрузкой во всем диапазоне, но это касается также всех материалов (сталь, бетон, полимер и др.).

Идеальная аналого-дискретная модель может быть представлена состоящей из четырех идеальных тел: N (Ньютон), H (Гук), Stv (Сен-Венан) и KR (Кулачкин-Радкевич). Простейшая схема модели представлена на рис. 1.

Реальные модели существенно дополняют и усложняют идеальную модель. Идеальная аналого-дискретная модель на основе четырех идеальных тел N , H , Stv и KR допускает их различные комбинации как в отношении последовательности, так и весовой функции

относительно физико-механических свойств. Главным ее отличием от современных представлений свойств материалов является то, что может быть иной порядок проявления свойств, например традиционный

$$H \rightarrow N \rightarrow Stv \rightarrow \text{а может быть KR} \quad H \quad N$$

$$Stv \text{ и др.}$$

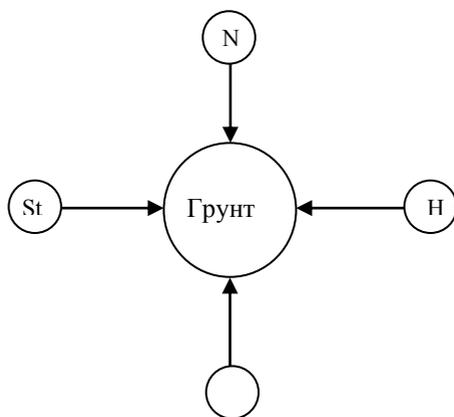


Рис. 1

Безусловно, на основе экспериментальных исследований получено очень много побочных свойств, которые информационно обогащают грунт и, конечно, модели. К примеру, новую модель с параметром просадки возможно рекомендовать для практического применения в просадочном грунте.

Эффект «Кулачкина-Радкевича» [19, 20]. Этот эффект позволил в какой-то степени обнаружить аномальное явление. Поровое давление внутри песчаной насыпи, образованной гидронамывом (строительство мостового перехода в г. Саратове через р. Волга у села Пристанное), оказалось меньше атмосферного (!).

Этот результат был получен благодаря новой методике измерений порового давления в процессе статического зондирования. В данном случае проводилось измерение порового давления в процессе его релаксации при остановке зонда. Эта методика принципиально отличается от рекомендуемой, изложенной в международном стандарте на СРТ.

В итоге оказалось, что поровое давление внутри песчаной насыпи являлось неким стабилизирующим фактором, что повысило устойчивость песчаной насыпи. Этот эффект важен для понимания процессов, происходящих в массиве грунта как при техногенном воздействии, так и при эволюции верхних слоев литосферы.

Капиллярная модель грунта. Высота капиллярного поднятия, капиллярные силы и их учет в различного рода расчетах имеют важное значение в геотехнике. В нормах РФ в достаточно общем виде обозначены высоты капиллярного поднятия для различных видов грунта. Проведенные исследования в различных регионах РФ, в том числе с использованием ННК (нейтрон-нейтронный каротаж) и ГК (гамма-гамма каротаж) показали, что высота капиллярного поднятия нестабильна и не достигает величины более 2 м [21]. В процессе эволюции или техногенеза могут образовываться как традиционные капилляры так и капилляры Жомена [11]. На этой основе разработана комбинированная капиллярная модель.

Одним из главных выводов этой модели является отсутствие прямой связи между высотой и силой капиллярного поднятия (тем более, что объемная и весовая влажности по высоте каймы капиллярного поднятия нестабильны и сама кайма неровная). Экспериментальные исследования проводились в различных регионах РФ. Большое количество исследований выполнялось в Узбекистане.

Разработанная комбинированная модель показывает, что больших высот капиллярное поднятие не достигает, хотя в одной из своих работ К. Терцаги допускал, что высота капиллярного поднятия может достигать более 100 м.

Поровое давление. Вопрос с поровым давлением был решен в большой степени в рамках открытия №186 [22] «Закономерность распределения порового давления в глинистых породах». Это открытие позволяет рассматривать поровое давление как элемент памяти образования и эволюции верхних слоев литосферы. Здесь следует отметить, что вслед за этим открытием последовало много научных работ о некоей памяти воды и больших возможностях методики ее оценки. Исследования показали [1, 2, 22, 23], что в водонасыщенных песках (открытый геомассив) поровое давление в полной мере соответствует гидростатическому давлению. В глинистой породе [24, 25] поровое давление распределено

неравномерно и может быть меньше гидростатического, равно ему или больше его, вплоть до литостатического давления [26].

В качестве такого примера можно привести измерение порового давления в неоднородном геомассиве одного из районов Таллина. Широкое применение методики измерения порового давления было основано на применении прибора «ПИКА» [24, 27, 28, 29, 30].

Классификация грунта. Известно, что К. Терцаги и Р. Пек ввели понятие переуплотненного грунта. Однако долгое время в РФ переуплотненный грунт как категория не фигурировал. В конце 20-го века Б.И. Кулачкиным была введена новая классификация грунта: переуплотненный – нормальноуплотненный – недоуплотненный грунт. Переуплотненный грунт был введен в МГСН-2003. Практическое использование этой классификации позволило обосновать возможность надстройки существующих зданий и сооружений, в частности, в Москве. Использование этой классификации было осуществлено при проектировании и строительстве автодороги «Шантала – Клявлино» в Самарской обл. и при строительстве магистрали Север-Юг в Израиле.

Природное давление. Природное давление, которое представляется как γh , не в полной мере отражает суть вопроса. Так, С.Б. Ухов и его коллеги [31] пишут, что это сложный с инженерной точки зрения вопрос. Природное давление, во всяком случае на небольших глубинах, зависит от эволюции верхних слоев литосферы.

Чтобы каким-то образом прояснить этот вопрос, проведен ряд исследований. Стало ясно, что определение природного (бытового) давления не может быть решено аналитически. Кстати, этот вопрос неким образом связан с классификацией грунта (переуплотненный, нормальноуплотненный и недоуплотненный грунт). Были предприняты попытки оценить природное (бытовое) давление через боковое давление. Был сконструирован зонд [32] для статического зондирования с измерением бокового давления, причем в конструкции предусмотрена компенсация от различного рода погрешностей. Эксперименты показали, что природное (бытовое) давление может быть экспериментально определено в необходимых случаях, что существенно уточняет различного

рода расчеты. Особенно это важно для оценки устойчивости склонов и откосов.

Литература

1. Кулачкин, Б.И. Проблемы и перспективы геотехники / Б.И. Кулачкин, А.И. Радкевич, А.Д. Соколов. М. : РАЕН, 2003.
2. Фундаментальные и прикладные проблемы геотехники / Б.И. Кулачкин [и др.]. – М. : РАЕН, 1999.
3. Шмидт, В.И. Опыт проектирования моста через р. Ликова / В.И. Шмидт [и др.] // Вестник мостостроения. – №3–4. – 2004.
4. Основы строительной экологии / Б.И. Кулачкин [и др.]. – Саратов : Изд-во. Саратовского университета, 2000.
5. Morgenstern, N.R. The Observation Method in Environmental Geotechnics / N.R. Morgenstern // Proceedings of the First International Congress on Environmental Geotechnics. Edmonton. –Canada, 1994.
6. Шмидт, Д.Д. Концепция исследования качества искусственных сооружений в условиях Москвы / Д.Д. Шмидт // Транспортное строительство. – №5. – 2013.
7. Кондрауров, И.И. Теория дискретного распределения вертикальных напряжений и деформаций сжатия в однородных и слабых грунтовых основаниях / И.И. Кондрауров // Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. –А Н СССР, 1960.
8. Крутов, В.И. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах / В.И. Крутов, А.С. Ковалев, В.А. Ковалев. – М. : Изд. АСВ, 2013.
9. Ильичев, В.А. Советско-голландский эксперимент в области зондирования грунтов / В.А. Ильичев [и др.] // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1986. – №5.
10. Кулачкин, Б.И. Исследование метода зондирования для определения относительной просадочности и коэффициента фильтрации лессовых грунтов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.И. Кулачкин. – М. : НИИОСП, 1975.
11. Кулачкин, Б.И. Экспериментально-теоретические исследования и разработка метода зондирования в инженерной геологии : / автореф. дис. ... д.г.-м.н. / Б.И. Кулачкин. – Ташкент, 1991.
12. Kulachkin, V.I. Cone Penetration Testing in Russia / V.I. Kulachkin, Yu.G. Trofimenkov, L.G. Mariupolsky, I.B. Rygkov //

Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing. Linkoping, Sweden, 1995.

13. Теория информации и ее практические приложения (сборник переводов) / под ред. А.А. Харкевича. – М. : Изд. физ.-мат.лит., 1959.

14. Kulachkin, B.I. Soil Classification by means of PIKA-10 Statik Penetration Tests / B.I. Kulachkin, N.P. Betelev, V.P. Otrepiev, A.Z. Chister // Proc. of the 1st Int. Symposium on Penetration Testing (ISOPT-1). Orlando, USA, 1988.

15. Kulachkin, B.I. Soil Massives subdivision into Types of Soil / B.I. Kulachkin, A. Anand, A.I Radkevitch, N.P. Betelev // Proceedings of the Mongolian Geotechnic Conference MGC-96. Ulaanbaatar, Mongolia, 1996.

16. Kulachkin, B.I. Survey on Site of Port Salif in Yemen / B.I. Kulachkin, A.I. Radkevitch, M.A. Trotsky, P.A. Schepetinov, I.P. Shlykov, J.G. Shakhgelyan // Proceedings of the International Symposium on Cone Penetration Testing. Linkoping, Sweden, 1995.

17. Непрерывно аналого-дискретная модель грунта / Б.И. Кулачкин [и др.] // Транспортное строительство. – №4. – 2000.

18. Кулачкин, Б.И. Аналого-дискретная модель грунта / Б.И. Кулачкин, А.И. Радкевич // Международная научно-практическая конференция «Геотехника-99». – Пенза, 1999.

19. Кулачкин, Б.И. Область пониженного давления внутри песчаной насыпи / Б.И. Кулачкин, А.И. Радкевич, Д.В. Паранин // Третья Украинская научно-техническая конференция по механике грунтов и фундаментостроению. – Одесса, 1997.

20. Кулачкин, Б.И. Эффект Кулачкина-Радкевича при возведении песчаной насыпи гидронамывом / Б.И. Кулачкин, А.И. Радкевич, В.И. Беда, Д.В. Паранин. Б.И. Кулачкин, А.И. Радкевич, В.И. Беда, Д.В. Паранин // 8-я Международная конференция по экспериментальным исследованиям инженерных сооружений, ЭИИС-98, 1998.

21. Кулачкин, Б.И. Капиллярная модель грунта / Б.И. Кулачкин // Рекламный листок. М., ВДНХ СССР, 1979.

22. Кулачкин, Б.И. Диплом №186. Научное открытие – Закономерность распределения порового давления в глинистых породах / Б.И. Кулачкин, А.И. Радкевич, Ю.В. Александровский, Б.С. Остюков // М., РАЕН, 1991.

23. Dalmatov, B.I. Field Investigations Clay Soils / B.I. Dalmatov, B.I. Kulachkin // Proceedings of 10th Int. Conf. of Soil Mech. and Found. Eng. v.2, Rotterdam, 1981.

24. Кулачкин, Б.И. Поропьезомер / Б.И. Кулачкин // – 1М. Паспорт НТД. М., НИИОСП, 1983.

25. Кулачкин, Б.И. Кулачкин, Б.И. Новая методика измерения порового давления. Паспорт НТД / Б.И. Кулачкин., М., НИИОСП, 1984.

26. Кулачкин, Б.И. Кулачкин, Б.И. Измерение порового давления в грунтах зондированием / Б.И. Кулачкин, Н.П. Бетелев, А.З. Гинстер, В.П. Отрепьев. // Библиографическая информация: Строительство и архитектура. Выпуск 5, ВНИИИС, 1984.

27. Кулачкин, Б.И. Кулачкин, Б.И. Аномально высокие пластовые давления и средства их измерения / Б.И. Кулачкин, Н.П. Бетелев, А.З. Гинстер, В.П. Отрепьев // Библиографическая информация. Строительство и архитектура. Выпуск 5, ВНИИИС, 1984.

28. Кулачкин, Б.И. Руководящий нормативный документ. Морские инженерно-геологические изыскания. Определение строительных свойств донных грунтов комплектом ПИКА-10 / Б.И. Кулачкин и др. // Мингазпром, Баку, Гипроморнефтегаз, 1984.

29. Кулачкин, Б.И. Кулачкин, Б.И. Использование результатов статического зондирования для оценки физико-механических характеристик грунтов / Б.И. Кулачкин // Сб. №74. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М., Стройиздат, 1984.

30. Кулачкин, Б.И. Литологическое расчленение грунтовых массивов в Волгоградском Поволжье по результатам статического зондирования комплектом ПИКА-10 / Б.И. Кулачкин, Н.П. Бетелев, В.П. Отрепьев, А.З. Гистер // Инженерная геология, №4, 1986.

31. Ухов, С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С.Б. Ухов и др. // М., Высшая школа, 2007.

32. Кулачкин, Б.И. Кулачкин, Б.И. Устройство для определения физико-механических свойств грунта / Б.И. Кулачкин и др. // А.с. №1191521. Бюлл. №42, 1985.