

Таблица 2. Первая итерация симплекс-метода, используемого при решении уравнений-ограничений

№ п/п	P	C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			X	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
				33,56	35,35	37,16	39,21	44,40	0	0	0	0
1	P ₆	0	169,8	1,63	1,65	1,68	1,71	1,82	1	0	0	0
2	P ₇	0	472,0	4,28	4,37	4,45	4,55	5,95	0	1	0	0
3	P ₈	0	2,1	0,002	0,01	0,02	0,03	0,04	0	0	1	0
4	P ₉	0	76,2	0,38	0,56	0,72	0,93	1,25	0	0	0	1
5				33,56	35,35	37,16	39,21	44,40	0	0	0	0

Таблица 3. Пятая итерация симплекс-метода, используемого при решении уравнений-ограничений

№ п/п	P	C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			X	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
				33,56	35,35	37,16	39,21	44,40	0	0	0	0
1	P ₄	39,21	80,075	1,009	0,984	1,005	1	0	3,147	-0,962	0	0
2	P ₅	44,50	18,107	-0,057	-0,018	-0,021	0	1	-2,407	-0,903	0	0
3	P ₈	0	-10,282	-0,026	-0,019	-0,010	0	0	-0,003	-0,005	1	0
4	P ₉	0	-24,976	-0,638	-0,495	-0,370	0	0	-1,674	0,392	0	1
5				-3,676	-2,020	-1,353	0	0	-16,499	-2,669	0	0

Выводы

1. Сформулированная математическая модель позволяет решить задачу оптимизации системы, включающей узкие ленточные фундаменты на песчано-гравийных подушках, подстилаемых уплотненными естественными грунтовыми основаниями. Модель учитывает номенклатуру узких ленточных фундаментов, трудоемкость машин и механизмов, используемых при возведении фундаментов группы зданий.
2. Предложен метод расчета узких ленточных фундаментов группы зданий.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Мн: СРБ. – 36 с.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М., 1985.
3. Данциг Дж. Линейное программирование, его обобщения и применение. – М.: Прогресс, 1966. – 96 с.
4. Кузнецов Ю.Н., Холод Н.И. Математическое программирование. – Мн.: Высшая школа, 1984. – 200 с.

Статья поступила в редакцию 26.03.07

УДК 624.132.345

Дедок В.Н., Шведовский П.В.**ОСОБЕННОСТИ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАМЫВА ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ЮГО - ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ****Введение**

Целью лабораторного моделирования процесса намыва, в условиях Юго-Западного региона Республики Беларусь, является исследование особенностей технологических способов намыва и обоснование оптимальных его схем в условиях, обеспечивающих наибольшую плотность намывного массива при наименьшей неоднородности в плане и по глубине и определяемых текстурой грунта, технологией производства работ, гидравлическими параметрами потока пульпы на откосе намыва, гранулометрическим составом карьерного грунта, характером фракционирования, характером консолидации грунта и др.

Анализ взаимозависимостей этих факторов позволяет отметить, что в качестве модельной схемы фракционирования грунтов целесообразно применить выборочную раскладку частиц из потока пульпы вдоль откоса намыва в порядке уменьшения крупности с распределением, подчиняющимся

нормальному закону. Наблюдаемая иногда в практике случайность в раскладке некоторых частиц грунта [1], обуславливается трудностью оценки таких множеств факторов, как неустановившийся режим подачи пульпы, изменение гранулометрического состава карьерного грунта, перемещение фронта намыва при переключке трубопроводов, наличие органических веществ, химизм водной среды и др.

Поэтому в качестве рабочей модели принята стохастическая модель фракционирования со следующими характеристиками процесса фракционирования: E – параметр силового воздействия; Φ – параметр фракционирования; x_0 – параметр расстояния; Φ_0 – форма кривых рассеивания частиц; Φ_0 и Φ_{0i} – содержание i -ой фракции в пробе намывного и в составе карьерного грунтов; x – расстояние от выпуска

Дедок Владимир Николаевич, доцент кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Шведовский Петр Владимирович, кандидат технических наук, профессор кафедры оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Грансостав карьерных грунтов

Тип модели грунта	Вид грунта	Диаметр частиц, мм						
		>3	3-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	<0.1
А	Песок мелкозернистый	-	1.5	11.0	20.0	16.0	28.0	23.5
Б	Песок среднезернистый (тип I)	-	-	1.5	9.0	43.0	42.0	4.5
В	Песок среднезернистый (тип II)	-	1.5	3.7	1.7	68.6	22.0	2.5
Г	Песок крупнозернистый	5.0	2.0	28.0	16.0	40.0	8.0	1.0

пульпы до рассматриваемого сечения; L – полная длина откоса намыва от распределительного пульповода до уреза прудостойника.

Все это при моделировании требует соответствия:

а) исходного грунта, т.е. подобия гранулометрических составов грунта на модели и в карьере ($d_M = d_H$), параметров грансостава ($P_M = P_H$) и коэффициентов формы частиц ($K_M = K_H$);

б) удельных расходов пульпы, т.е. равенства удельных расходов водной составляющей пульпы $q_{w_0}^M = q_{w_0}^H$;

в) консистенции гидросмеси, т.е. равенства начальных удельных расходов твердых частиц на модели и в натуре $q_s^M = q_s^H$.

Анализ карьерных материалов для условий Юго-Западного региона Республики Беларусь требует моделировать четыре вида грунта с характеристиками, приведенными в таблице 1.

Методы исследований

Собственно создание модели намыва в лабораторных условиях требует установления подобия модели и природы.

Для геометрического подобия необходимо, чтобы отношение всех соответствующих линейных размеров было одно и то же, т.е.:

$$\frac{x_M}{x_H} = L \cdot \lambda,$$

где индексы M – модель; H – натура.

Для кинематического подобия необходимо обеспечить постоянство отношения отрезков времени, требующего для прохождения соответствующими частицами соответствующих расстояний, т.е.:

$$\frac{T}{T_H} = T_\lambda.$$

Для соблюдения кинематического подобия необходимо равенство чисел Фруда модели и природы, т.е.:

$$F_{RM} = \frac{U^2 \cdot m}{q \cdot h_M};$$

$$F_{RH} = \frac{U_H^2}{q \cdot h_H};$$

$$F_{RM} = F_{RH},$$

где U – интенсивность намыва; q – удельный расход пульпы; h – высота намыва.

Для динамического же подобия необходимо, чтобы отношение масс соответствующих частиц в соответственных положениях было бы постоянным, так же как сил, вызывающих ускорения, т.е.:

$$\frac{m_M}{m_H} = m_\lambda; \quad \frac{F_M}{F_H} = F_\lambda.$$

Так как основным исследуемым фактором, влияющим на физико-механические свойства намывных грунтов, является плотность сухого грунта, то при намыве грунта на моделях необходимо установить влияние масштаба модели на плотность сухого грунта, т.к. с уменьшением масштаба плотность сухого грунта увеличивается. Так, по данным Огурцова А.И. [2], уменьшение масштаба модели от 1:1 до 1:42 приводит к увеличению плотности сухого грунта соответственно от 1,55 до 1,64 г/см³.

Отсюда зависимость между значением плотности сухого грунта в натуре и на модели соответствующего масштаба можно выразить через относительное приращение значения плотности сухого грунта на модели по сравнению со значением плотности сухого грунта в натуре, т.е.:

$$A = \frac{\rho_d^M - \rho_d^H}{\rho_d^H}.$$

Число "А" в общем виде является функцией масштаба модели и аппроксимируется следующим уравнением

$$A = \frac{0,5125 \cdot 10^{-3}}{M_M - 0,25 \cdot 10^{-3}},$$

где M_M – масштаб модели.

Не менее существенными факторами, влияющими на плотность сухого грунта, являются крупность и неоднородность состава грунта и форма частиц грунта. Эти показатели предопределены карьерным грунтом, но так как изменений их в процессе намыва наблюдаться не будет, то и влиянием их на изменение плотности сухого намывного грунта можно пренебречь.

Очевидно, что на изменение плотности сухого грунта будут влиять и такие технологические факторы, как удельные расходы твердой составляющей пульпы q_s и воды q_w на карте намыва.

Влияние q_s и q_w на плотность сухого грунта при постоянном расходе жидкой составляющей целесообразно учитывать соответствием интенсивности намыва определяемой формулой:

$$U = \frac{Q_s}{\gamma \cdot d \cdot F},$$

где Q_s – расход грунта в весовых единицах;

F – площадь карты;

d – расчётный диаметр частиц;

γ – удельный вес грунта.

Для случая плоской задачи расчетная зависимость будет иметь вид:

$$U = \frac{q_s}{\gamma \cdot d \cdot L},$$

где q_s – удельный расход грунта;

L – длина карты намыва.

Таблица 2. Расчетные параметры модели

Расчётные параметры \ Тип грунта	А	Б	В	Г
Неразмывающая скорость, м/с	0,97	0,99	1,14	1,16
Уклоны поверхности откоса при 10% консистенции пульпы	0,200	0,025	0,030	0,035
Объёмы грунтов модели намываемых за одну позицию пульповода, м ³	1176,0	794,0	598,3	296,2
Время намыва расчётных объёмов в натуре, час	3,92	2,65	2,01	1,00
Объёмы грунта на модели, м ³	1,75	1,19	0,91	0,42
Время намыва расчётного объёма на модели, час	1,89	1,26	1,17	0,58
Расчётная интенсивность подачи пульпы, л/с	3,00	3,10	3,40	3,42
Скорость вылета пульпы из торца пульповода, м/с	4,55	4,55	4,55	4,55

Таблица 3. План эксперимента

Тип грунта	Технологический параметр $T_0 = i \cdot L$			
	T_0^1	T_0^2	T_0^3	T_0^4
А	$c_s^1 \cdot q_w^1$	$c_s^2 \cdot q_w^2$	$c_s^3 \cdot q_w^3$	$c_s^4 \cdot q_w^4$
Б	$c_s^2 \cdot q_w^2$	$c_s^3 \cdot q_w^3$	$c_s^1 \cdot q_w^1$	$c_s^4 \cdot q_w^4$
В	$c_s^3 \cdot q_w^3$	$c_s^1 \cdot q_w^1$	$c_s^2 \cdot q_w^2$	$c_s^4 \cdot q_w^4$

Таблица 4. Матрица эксперимента

Тип грунта	Технологический параметр $T_0 = i \cdot L$			
	T_0^1	T_0^2	T_0^3	T_0^4
А	$c_s^1 \cdot q_w^1, c_s^2 \cdot q_w^2$	-	$c_s^1 \cdot q_w^2, c_s^3 \cdot q_w^3$	-
Б	$c_s^2 \cdot q_w^2, c_s^3 \cdot q_w^3$	-	$c_s^2 \cdot q_w^3, c_s^1 \cdot q_w^1$	-
В	-	$c_s^3 \cdot q_w^3, c_s^1 \cdot q_w^1$	-	$c_s^2 \cdot q_w^1, c_s^3 \cdot q_w^2$

Соответственно для случая пространственного растекания пульпы

$$U = 1,5 \frac{Q_s}{\gamma \cdot d \cdot L^2}.$$

Для изучения совместного влияния технологических факторов и длины откоса намыва предложено [3] ввести технологический параметр, определяемый зависимостью:

$$T = \frac{\sqrt{q \cdot h \cdot i \cdot L \cdot \gamma_d}}{q_s}.$$

Данные предпосылки обеспечивают возможность выявления влияния (выбора) технологических факторов и оптимизации их сочетания для получения намывных грунтов с требуемой плотностью.

Результаты исследований

В соответствии с принятыми принципами подобия модели и природы был проведён расчёт параметров модели.

1. Масштаб модели (реальной в условиях лаборатории) принят М 1:20.

2. Определены:

а) неразмывающая скорость для модельных грунтов

- б) уклоны поверхности откоса при 10% консистенции пульпы;
- в) объёмы грунтов, близких к модельным, намываемых в натуре за одну позицию пульповода;
- г) время намыва расчётных объёмов в натуре;
- д) объёмы и время намыва на модели, соответствующие натуре;
- е) требуемая интенсивность подачи пульпы при $C_s = 10\%$, определяющая все характеристики модели земснаряда;
- ж) скорость вылета пульпы из торца пульповода для основного земснаряда.

Расчётная скорость вылета пульпы и интенсивность её подачи, заложенные в модель, определили необходимость создания модельного земснаряда со следующими параметрами: $Q_{нас} = 3 \text{ л/с}$, $d_{тр} = 65 \text{ мм}$.

Тогда, соответственно, интенсивность намыва на модели составит 80 мм/час (1,3 мм/мин), ширина потока по геометрическому закону подобия – 2,1м, длина откоса намыва – 3,5м, толщина слоя намыва – 0,6м. Удельный расход пульпы принят $q_{w0} = 0,15 (\text{л/с})/\text{м}$, при натурном удельном расходе $2,2 (\text{л/с})/\text{м}$.

Технологические параметры тогда соответственно будут равны $T_M = 550$, $T_H = 3500$, что определяет удовлетво-

рительное воспроизведение натурального процесса намыва песчаных грунтов относительно их прогнозируемых характеристик (табл. 2).

Для правильной оценки точного объема экспериментальной работы без потерь смысла и точности был поставлен план эксперимента на базе оптимизации интервалов между значениями переменных.

В качестве экстремальных значений параметров T_0 , C_S , q_W принята область, наиболее характерная для натурального намыва. План эксперимента (табл. 3) для уменьшения объема работ составлен по рандомизированной схеме, определяющей чередование выбора значений переменных случайным образом, при этом внешние переменные рассматривались как дискретные величины.

Близкая значимость грунтов типа Б и В дала возможность число экспериментов сократить до шести, используя комбинированный эксперимент с матрицей, приведенной в табл. 4.

При проведении лабораторных экспериментов определялись следующие показатели намывных грунтов:

- мутность сбросной воды с помощью мутномера МН-1;
- плотность грунта, плотность сухого грунта, влажность, плотность сухого грунта в предельно рыхлом и предельно плотном состояниях методом отбора проб;
- гранулометрический состав грунта ситовым способом;
- коэффициент фильтрации грунта с помощью трубки СПЕЦГЕО;

УДК 624.016.001.24

Лукиа Л.К., Тур В.В.

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ПРОЧНОСТИ СЛОИСТОГО СТАЛЕБЕТОНА

Введение

Слоистые сталебетонные конструкции, ранее именовавшиеся трубобетонными, всё более широко применяются в современном строительстве, вытесняя традиционный железобетон. Причин этому несколько. Это и возрастание эксплуатационных нагрузок на элементы сооружений, и недостаточное сопротивление железобетона действию больших перерезывающих сил, особенно сейсмических, и, наконец, применение сверхвысокопрочных бетонов, использование которых в традиционном конструктивном исполнении нерационально из-за раннего отпадания защитного слоя бетона.

В сталебетоне наружный стальной слой не только сопротивляется действию внешних нагрузок, но одновременно служит надёжным защитным слоем элемента.

Проблема слоистых сталебетонных конструкций весьма актуальна для Беларуси в связи с планируемым строительством сверхвысотных зданий, а также возведением АЭС. В упомянутых областях строительства сталебетонным слоистым конструкциям принадлежит первостепенная роль.

В теории проектирования ещё нет единых воззрений на расчёт прочности слоистых сталебетонных конструкций, однако в последние годы успешно развивается фундаментальный метод [1], начало которому положено работой [2]. Данным методом рассчитан ряд слоистых сталебетонных элементов [3-11].

Анализ полученных решений показывает, что все они, независимо от формы поперечных сечений и характера нагружения, обладают существенной методологической общностью, позволяющей создать единый алгоритм решения задачи расчёта прочности слоистого сталебетона.

- сопротивление грунтов сдвигу на сдвиговых приборах;
- показатели сжимаемости грунтов на компрессионных приборах;
- уклон откоса намыва, осадки и интенсивность намыва с помощью нивелирования.

Выводы

Сопоставление данных, полученных по результатам лабораторного моделирования, с натурными данными на картах намыва в ЮВМР 1 – ЮВМР 3 (г. Брест), застраиваемых пойменных территориях (г. Гомель, г. Могилёв и др.) позволяют отметить, что предлагаемая методика моделирования обеспечивает достаточно достоверные результаты и обеспечивает возможность оптимизации на практике технологических факторов, при намыве территории не только в условиях Юго-Западного региона Республики, но и в других регионах.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мелентьев В.А. Намывные гидротехнические сооружения. – М.: Энергия, 1973. – 245 с.
2. Огурцов А.И. Намыв земляных сооружений. – М.: Госстройиздат, 1963. – 366 с.
3. Мелентьев В.А., Колпашиков Н.И., Волнин Б.А. Намывные гидротехнические сооружения (Основы расчёта и проектирования). – М.: Энергия, 1973. – 248 с.

Статья поступила в редакцию 02.03.07

Отметим некоторые характерные конструктивно-механические особенности элементов рассматриваемого класса конструкций. Во-первых, все их поперечные сечения должны быть осесимметричными. Далее, все слои при нагружении элементов претерпевают сложное (трёхосное) напряжённое состояние, существенно влияющее на прочностные показатели. Все слои элемента под нагрузкой взаимодействуют между собой, образуя внутренне статически неопределимую систему. Раскрытие указанной статической неопределимости составляет существенную часть расчёта конструкций фундаментальным методом. Наконец, следует заметить, что излагаемый метод следует применять в элементах, где продольная сжимающая сила является преобладающей, поскольку именно она вызывает дилатацию бетона, в результате которой возникает поперечное взаимодействие между слоями.

Существо алгоритма расчёта

Разработку метода расчёта следует начинать из постановки задачи, тщательного анализа конструктивной формы элемента и характера его нагружения. Сначала разрабатывают физическую модель элемента, обычно представляемую в графической форме, в виде схем, на которых необходимо показать вид, направление и площадки приложения действующих напряжений, учитываемых в расчёте. Здесь же формируются основные предпосылки и допущения, принимаемые в расчёте.

Исходя из физической модели, принятых предпосылок и допущений формируется математическая модель, включающая систему следующих уравнений: уравнение равновесия

Лукиа Леонид Константинович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки БССР.

Тур Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.