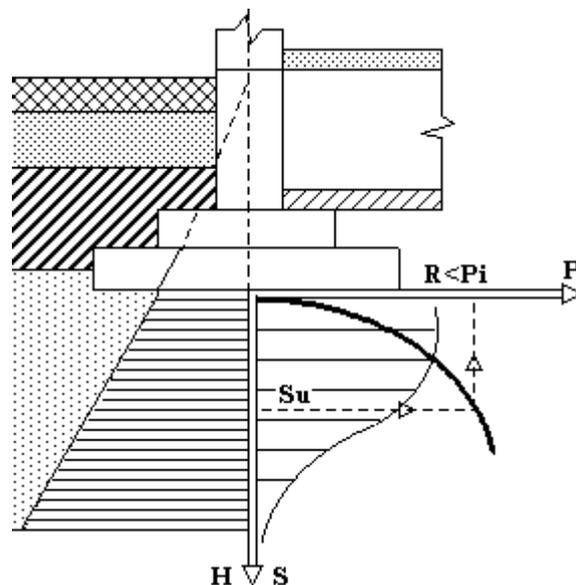


ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В КУРСЕ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ, ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ (Учебное пособие)



УДК 624.15:65.011

ББК Н581.1

Использование программного обеспечения в курсе механики грунтов, оснований и фундаментов / доктор технических наук, профессор С.И. Алексеев; Петербургский Государственный университет путей сообщения., 2002. - с.

В пособии изложены принципы программного обеспечения, при изучении курса механики грунтов, оснований и фундаментов, в целях проектирования и строительства зданий, и сооружений промышленного, гражданского, и железнодорожного назначения. Подробно рассматривается работа с различными программами, позволяющими проектировать жёсткие фундаменты на естественном или улучшенном основании, массивные подпорные стенки.

Приводится методика и подробное описание работы программы AscMe, которая позволяет проверить знания студентов по основным темам курса «Механика грунтов».

Составленная программа позволяет вводить изменения в количество опрашиваемых тем и контрольных вопросов, и может корректироваться в зависимости от целей опроса и специальностей студентов.

Особое внимание уделено на вариантное проектирование фундаментов с использованием предельных состояний, а также методов расчёта деформаций оснований. Рассматриваются численные примеры расчёта на ПК с экономическим анализом принятых решений.

Книга предназначена для студентов строительных специальностей, а также инженеров, работников проектно-строительных организаций.

Ил.. Библиогр. 6 назв.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Предисловие | 4 |
| 1. Контроль знаний студентов при изучении основных разделов механики грунтов (обучающая программа AscMe) | 5 |
| 1.1. Перечень контрольных вопросов по основным разделам механики грунтов..... | 8 |
| 1.1.1. Тема 1. Определение гранулометрического состава грунта. | 8 |
| 1.1.2. Тема 2. Характеристики физических свойств грунтов..... | 9 |
| 1.1.3. Тема 3. Характеристики физического состояния грунтов..... | 9 |
| 1.1.4. Тема 4. Сжимаемость и фильтрационные свойства грунтов. | 10 |
| 1.1.5. Тема 5. Прочностные свойства грунтов..... | 10 |
| 1.1.6. Тема 6. Предельное равновесие грунтов, устойчивость массивов грунтов..... | 11 |
| 1.1.7. Тема 7. Осадки оснований, фундаментов и причины их неравномерного развития. | 12 |
| 2. Анализ инженерно-геологических условий площадки строительства (программа GRUNT) | 14 |
| 3. Расчёт фундаментов по заданной осадке с учётом двух предельных состояний (программа NL) | 23 |
| 3.1. Ввод данных по физико-механическим характеристикам грунтов основания и параметрам фундамента..... | 24 |
| 3.2. Расчетные выходные параметры программы..... | 28 |
| 3.3. Интерпретация результатов расчета | 31 |
| 3.4. Графические выходные параметры программы..... | 32 |
| 3.5. Итоговые результаты расчета по рассмотренному примеру | 35 |
| Список литературы | 37 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

В основу учебного пособия положены те программные разработки, которые нашли своё применение на факультете «Мосты и тоннели» Петербургского Государственного технического университета путей сообщения.

Современное проектирование фундаментов зданий, сооружений, с учётом особенностей инженерно-геологических условий площадки строительства, уже не может обойтись без применения новейшей вычислительной техники и специального программного обеспечения. Такое программное обеспечение широко используется студентами при изучении обязательного курса "Механика грунтов, основания и фундаменты" (курсовое проектирование).

Чаще всего проектирование фундаментов, подпорных стен выполняется под уже выбранный тип сооружения. Однако даже в этом случае, для получения наиболее экономичного решения в расчётах фундаментных конструкций, задачу необходимо рассматривать комплексно, одновременно учитывая следующие взаимозависимые факторы:

- выбор несущих конструкций сооружений, удовлетворительно работающих при данных грунтовых условиях;
- физико-механические характеристики грунтов и возможные деформации оснований данных сооружений;
- способы производства земляных работ по возведению фундаментов, обеспечивающих сохранение естественной структуры грунтов.

Только при одновременном рассмотрении всех трёх выше отмеченных факторов, можно качественно и экономически обоснованно решить задачу по проектированию фундаментов. Использование же программного обеспечения позволяет решать данную задачу не только значительно быстрее, но и эффективнее, учитывая сложные геологические напластования грунтов.

Представленное программное обеспечение охватывает два основных направления:

- обучающие программы по оценке знаний основных разделов механики грунтов и обработки результатов инженерно-геологических изысканий (программы ASCME, GRUNT);
- расчёт фундаментов с учётом нелинейной работы основания или задаваемой пользователем осадке, по двум предельным состояниям [1,2,3,4,5] (программа NL).

Рассматриваемые программы представляют лишь часть обширного программного обеспечения, подробные сведения о котором можно найти в работах [5,6]. Однако даже они дают возможность достаточно наглядно представить всю многообразность решаемых задач и позволяют получить необходимый навык при автоматизированном проектировании фундаментов.

1. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ (ОБУЧАЮЩАЯ ПРОГРАММА ASCME)

Изучение курса механики грунтов сопровождается как правило выполнением ряда лабораторных работ, которые завершаются получением зачёта. В этом случае контроль качества освоения пройденного материала может быть осуществлён по программе AscMe. Данная обучающая программа позволяет проверить знания по семи основным темам курса механики грунтов. После запуска программы на экране монитора появляется меню следующего вида (рис.1.1):



Рис. 1.1. Вид главного меню программы AscMe

Представленные семь тем основных разделов механики грунтов могут быть выбраны пользователем в любой очередности. Для каждой из выбранных тем предлагается ответить на десять контрольных вопросов (количество вопросов может быть изменено). Вопросы появляются на экране в случайной по-

следовательности и на каждый из них предлагается четыре варианта ответа, пример такого диалогового экрана представлен на рис. 1.2.

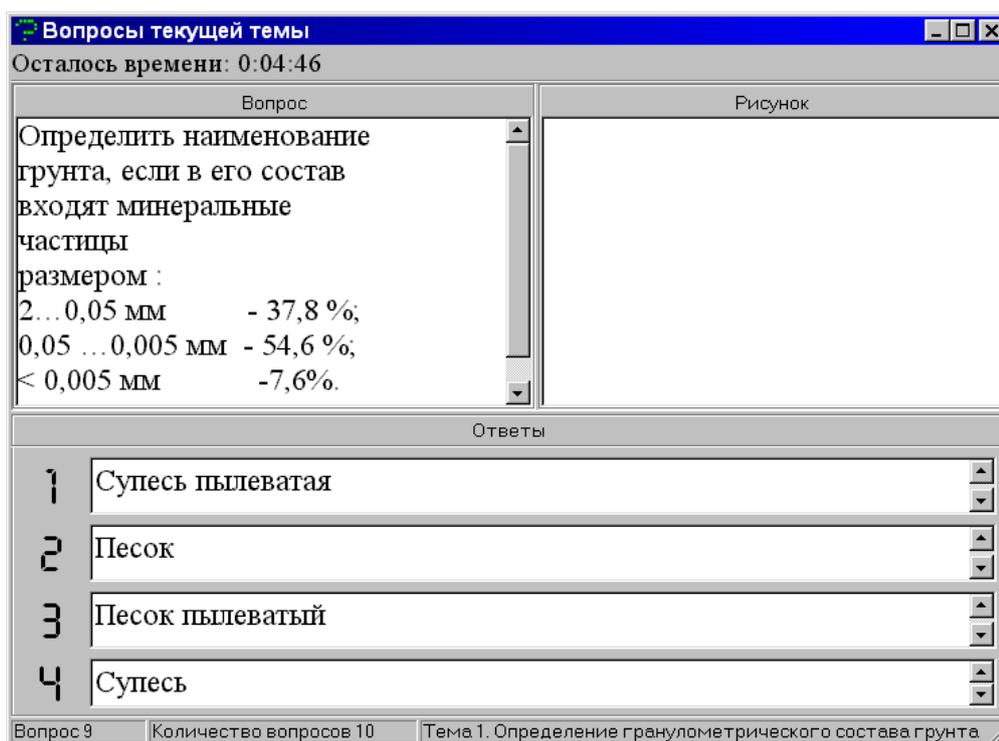


Рис. 1.2. Пример одного из 10 вопросов по теме № 1 (Определение гранулометрического состава грунта)

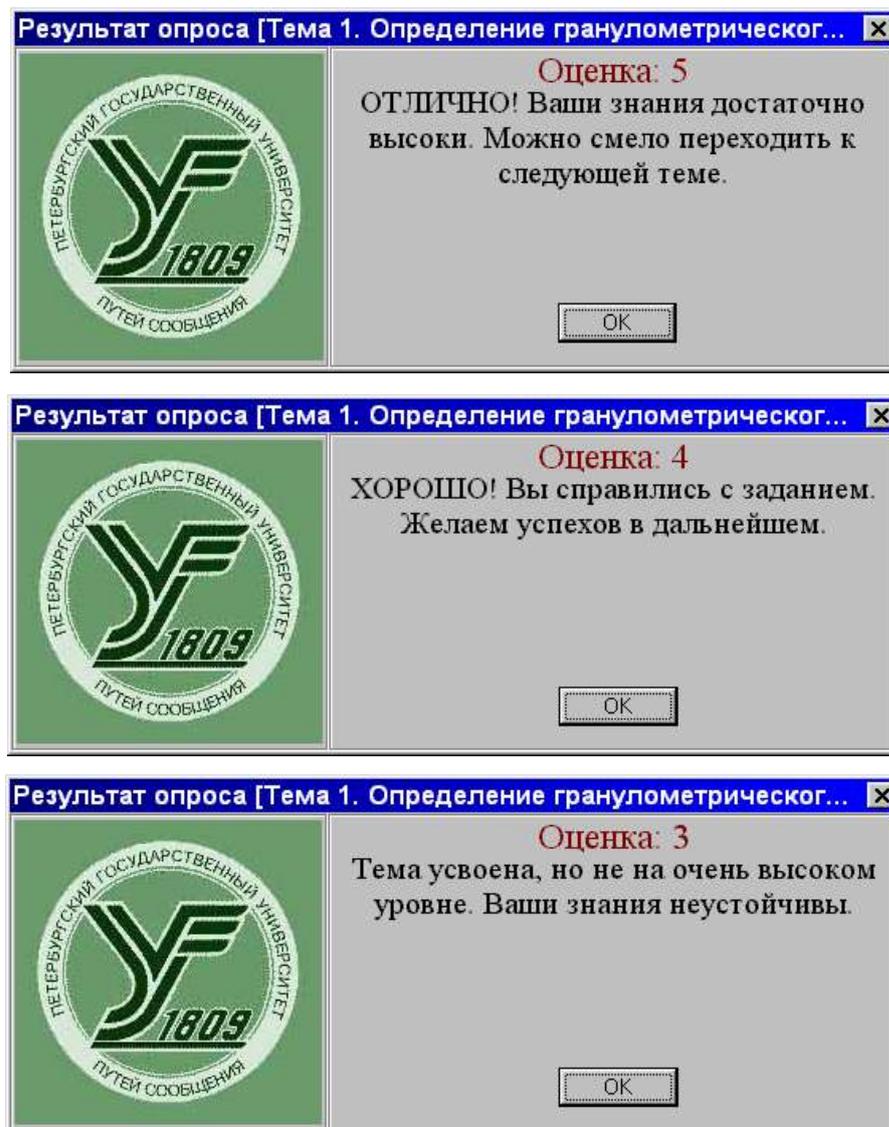
Для ответа на вопрос необходимо щёлкнуть «мышкой» по одной из четырёх цифр, соответствующей, по мнению пользователя, правильному варианту ответа. После этого на экране появится следующий вопрос, с соответствующими ему вариантами ответа и т.д. Среднее время для раздумывания над одним вопросом определено в 40 сек., или 6 мин. 40 сек. для всех 10 вопросов. Отсчёт времени ведётся в убывающем порядке и информирует об этом пользователя по второй строке меню вопросов. Если пользователь не успел за заданный отрезок времени ответить на все поставленные вопросы, то вопросы, оставленные без ответа, считаются соответствующие не правильному ответу.

В случае правильных ответов на все поставленные вопросы пользователь получает отличную оценку. При правильных ответах в общем случае на 90% и более, из всех поставленных вопросов, присваивается оценка хорошо. При правильных ответах в общем случае на 80...89 % , из всех поставленных вопросов, присваивается оценка удовлетворительно (или зачёт). При правильных ответах в общем случае менее 80% , из всех поставленных вопросов, присваи-

вается оценка неудовлетворительно, что вызывает необходимость повторить данную тему заново.

Повторный ответ по той же теме меняет последовательность задаваемых вопросов и вариантов ответов.

Таким образом, после ответа на все поставленные вопросы по выбранной теме (или по прошествии 6 мин. и 40 сек.), на экране монитора появится окно с одним из четырёх следующих сообщений (рис. 1.3.):



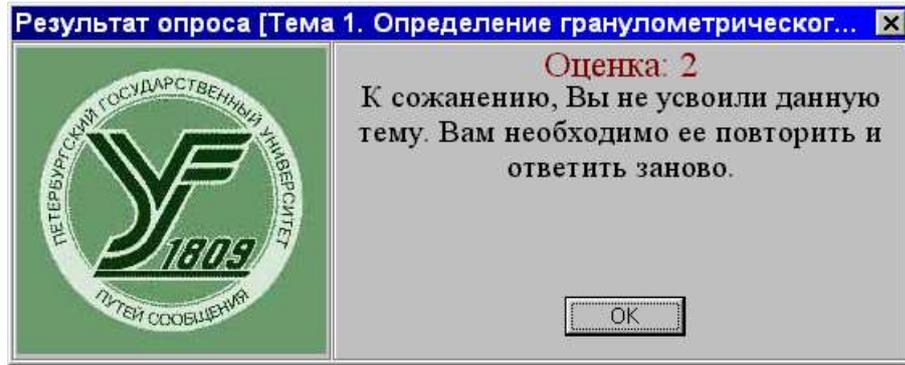


Рис. 1.3. Варианты графического экрана в результате ответа на все поставленные вопросы по выбранной теме из главного меню

При получении оценки 3,4 или 5, данная тема из механики грунтов считается освоенной и пользователь с разрешения преподавателя, может переходить к ответам по следующей теме. Неудовлетворительная оценка по опрашиваемой теме требует дополнительного изучения материала из литературных источников [1,2,3,4], конспектов и т.д., а затем повторного ответа.

Для предварительного ознакомления с контрольными вопросами, приводится примерный их перечень, который по усмотрению преподавателя может быть видоизменён.

1.1. Перечень контрольных вопросов по основным разделам механики грунтов

1.1.1. Тема 1. Определение гранулометрического состава грунта.

1. Определить наименование грунта, если в его состав входят минеральные частицы размером :
 - 2...0,05 мм - 37,8 %;
 - 0,05 ...0,005 мм - 54,6 %;
 - < 0,005 мм -7,6%.
2. Определить наименование грунта, в котором глинистых частиц от 10% до 25%.
3. Назовите размер минеральных частиц песка.
4. Какие грунты содержат больше свободной воды ?
5. Определить наименование грунта, в котором песка 30% и 30 % пылеватых частиц.
6. Назовите размер пылеватых частиц.
7. Назовите состав грунта.
8. Определить содержание пылеватых фракций в грунте, если он имеет 60 % песчаных частиц и 20 % глинистых.

9. Определить наименование грунта, в котором частиц крупнее 0,5 мм более 50 %.
10. Назовите метод определения гранулометрического состава песчаного грунта.

1.1.2. Тема 2. Характеристики физических свойств грунтов.

1. Найдите примерный удельный вес грунта, если его плотность $\rho = 1,86 \text{ г/см}^3$.
2. Как можно определить влажность грунта ?
3. Каким соотношением связаны между собой плотность грунта ρ и удельный вес γ ?
4. Что называется весовой влажностью грунта ?
5. Определить удельный вес грунта, с влажностью 0,2; если 3 м^3 сухого грунта имеют массу 45 кН.
6. Если степень влажности грунта больше 1, что можно сказать о грунте ?
7. Когда необходимо учитывать взвешивающее действие воды ?
8. С какой целью проводится метод зондирования грунта ?
9. Влажность грунта равна 0,2 ; полная влагоёмкость 0,4. Какую систему из себя представляет данный грунт ?
10. При какой температуре замерзает прочносвязанная вода ?

1.1.3. Тема 3. Характеристики физического состояния грунтов.

1. Показатель текучести $\mathfrak{Z}_L = 0,35$. В каком состоянии находится супесь ?
2. От чего зависит число пластичности ?
3. Назовите простейшую классификацию грунтов по числу пластичности для суглинка.
4. В каких пределах измеряется показатель текучести грунта ?
5. В каком состоянии находится суглинок, если его природная влажность
6. $W > W_L$?
7. По какому показателю определяется наименование глинистого грунта ?
8. Грунт имеет следующие характеристики: $W_L = 0,25$; $W_p = 0,10$; $W = 0,16$. Какой это грунт и в каком он находится состоянии ?
9. При каком значении показателя текучести грунт прочнее ?
10. Какое соотношение между показателями текучести и числом пластичности ?
11. Определить число пластичности грунта при следующих условиях: $W_L = 0,40$; $W_p = 0,20$; $W = 0,25$; $e = 0,5$; $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$.

1.1.4. Тема 4. Сжимаемость и фильтрационные свойства грунтов.

1. В каких единицах измеряется коэффициент фильтрации грунта ?
2. Что такое гидравлический градиент и в чём он измеряется ?
3. Какая существует связь между коэффициентом относительной сжимаемости и модулем общей деформации ?
4. В каких единицах измеряется коэффициент относительной сжимаемости грунта ?
5. С какой целью проводятся компрессионные испытания грунтов ?
6. Какие характеристики грунтов необходимы для определения осадок фундаментов ?
7. Для какой цели служат штамповые испытания ?
8. Какой грунт можно назвать сильно сжимаемым ?
9. В каком диапазоне напряжений определяется коэффициент сжимаемости грунта ?
10. Для какой цели служит обратная ветвь компрессионной кривой ?

1.1.5. Тема 5. Прочностные свойства грунтов.

1. Назовите прочностные характеристики грунта и испытания, при которых они определяются ?
2. Как можно аналитически выразить закон Кулона для глинистого грунта ?
3. С какой целью определяется угол внутреннего трения и сцепление грунта ?
4. В чём преимущества стабилметрических испытаний по сравнению со сдвиговыми ?
5. Какое минимальное количество образцов глинистого грунта необходимо для стабилметрических испытаний ?
6. Какие характеристики грунта определяются стабилметрическими испытаниями ?
7. При стабилметрических испытаниях получили значения главных нормальных напряжений $\sigma_1 = 0,15$ Мпа, $\sigma_2 = 0,05$ Мпа. Определить угол внутреннего трения песка.
8. В каких единицах измеряется сцепление грунта ?
9. Для чего служат испытания грунта крыльчаткой ?
10. Какими испытаниями можно определить коэффициент Пуассона в грунтах ?
- 11.

1.1.6. Тема 6. Предельное равновесие грунтов, устойчивость массивов грунтов.

1. Что такое изобары и какие очертания они имеют при плоской деформации?
2. Какой из этих фундаментов (см. рис. 1.4.) при равных грунтовых условиях даст большую осадку и почему ?

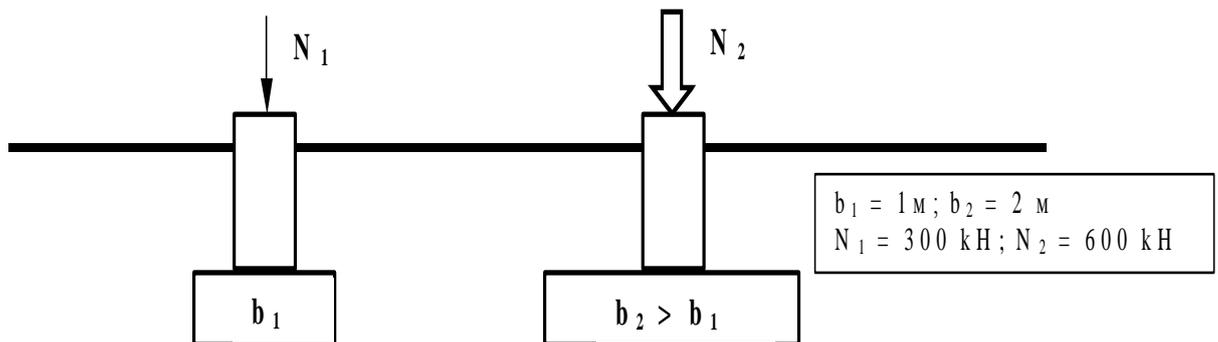


Рис. 1.4.

3. Какова форма эпюры контактных напряжений под абсолютно жёстким фундаментом ?
4. Что такое расчётное сопротивление грунта и от чего оно зависит ?
5. Что происходит в основании при достижении предельного давления под подошвой ?
6. От чего зависит устойчивость сыпучего (песчаного) грунта ?
7. Каким из приближённых методов может определяться устойчивость откоса грунта, обладающего трением и сцеплением ?
8. Что такое пассивное давление грунта ?
9. Определить природное давление грунта (см. рис. 1.5.) на глубине 2 м, при следующем геологическом разрезе ?

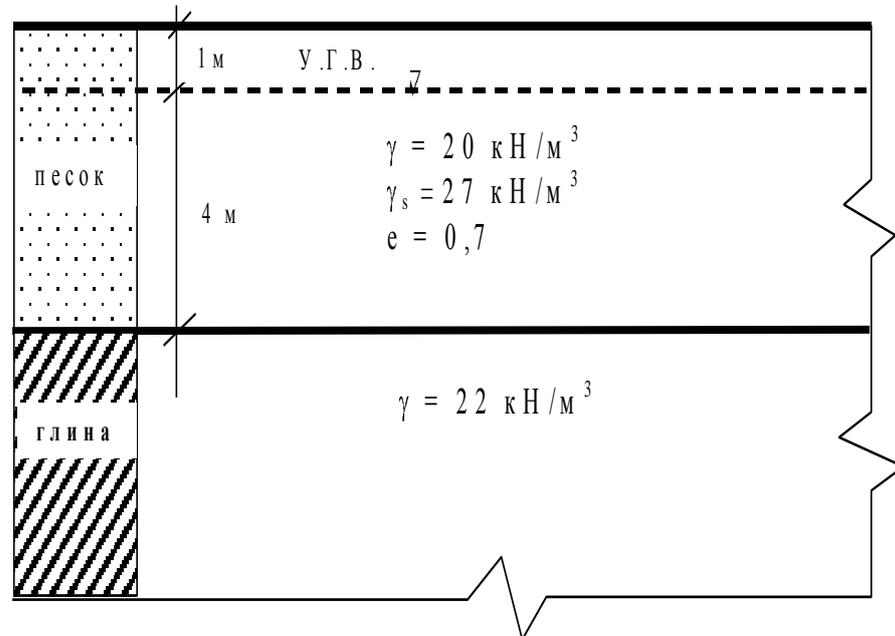


Рис. 1.5.

10. Определить максимальное значение бокового давления песка на подпорную стенку (см. рис. 1.6.).

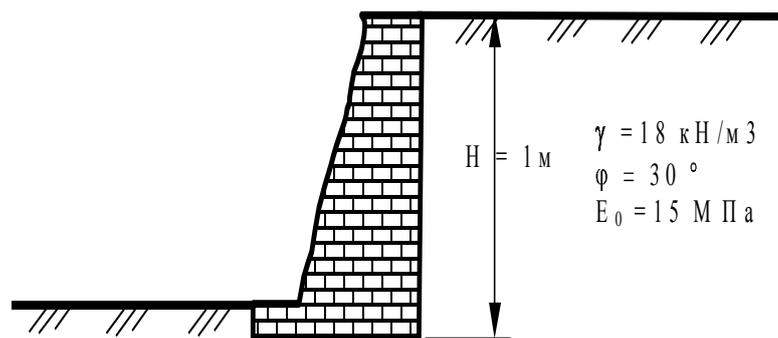


Рис. 1.6.

1.1.7. Тема 7. Осадки оснований, фундаментов и причины их неравномерного развития.

1. Как определяется глубина активной сжимаемой толщи в определении осадки фундамента методом послойного суммирования при $E_0 > 5 \text{ МПа}$?
2. Определить осадку слоя песка при следующем геологическом разрезе (см. рис. 1.7.):

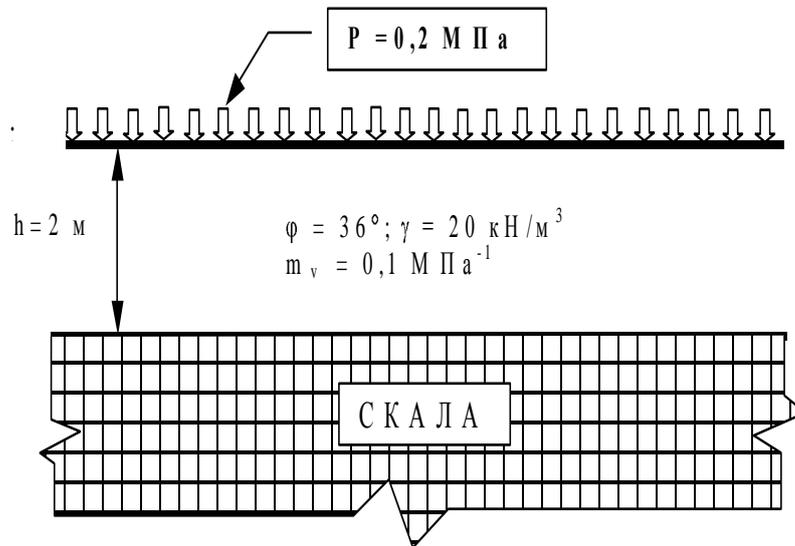


Рис. 1.7.

3. По какой формуле определяется осадка методом эквивалентного слоя?
4. Как можно определить осадку фундамента с учётом влияния соседних фундаментав?
5. Что вызовет недогрузка одного из фундаментав?
6. Как гидростатическое давление воды может изменить структуру грунта дна котлована?
7. Что такое суффозия?
8. Какие конструкции зданий наиболее чувствительны к неравномерным осадкам?
9. Какую деформацию сооружения называют скручиванием?
10. По какому закону изменяется эпюра дополнительного уплотняющего давления под подошвой фундамента?

2. АНАЛИЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА (ПРОГРАММА GRUNT)

Работа пользователя с программой GRUNT осуществляется в диалоговом режиме. Первый вопрос, появляющийся на экране монитора, предлагает ввести с клавиатуры учётные данные пользователя (Ф.И.О.; название объекта) и даёт возможность получить информацию о программе (рис. 2.4).

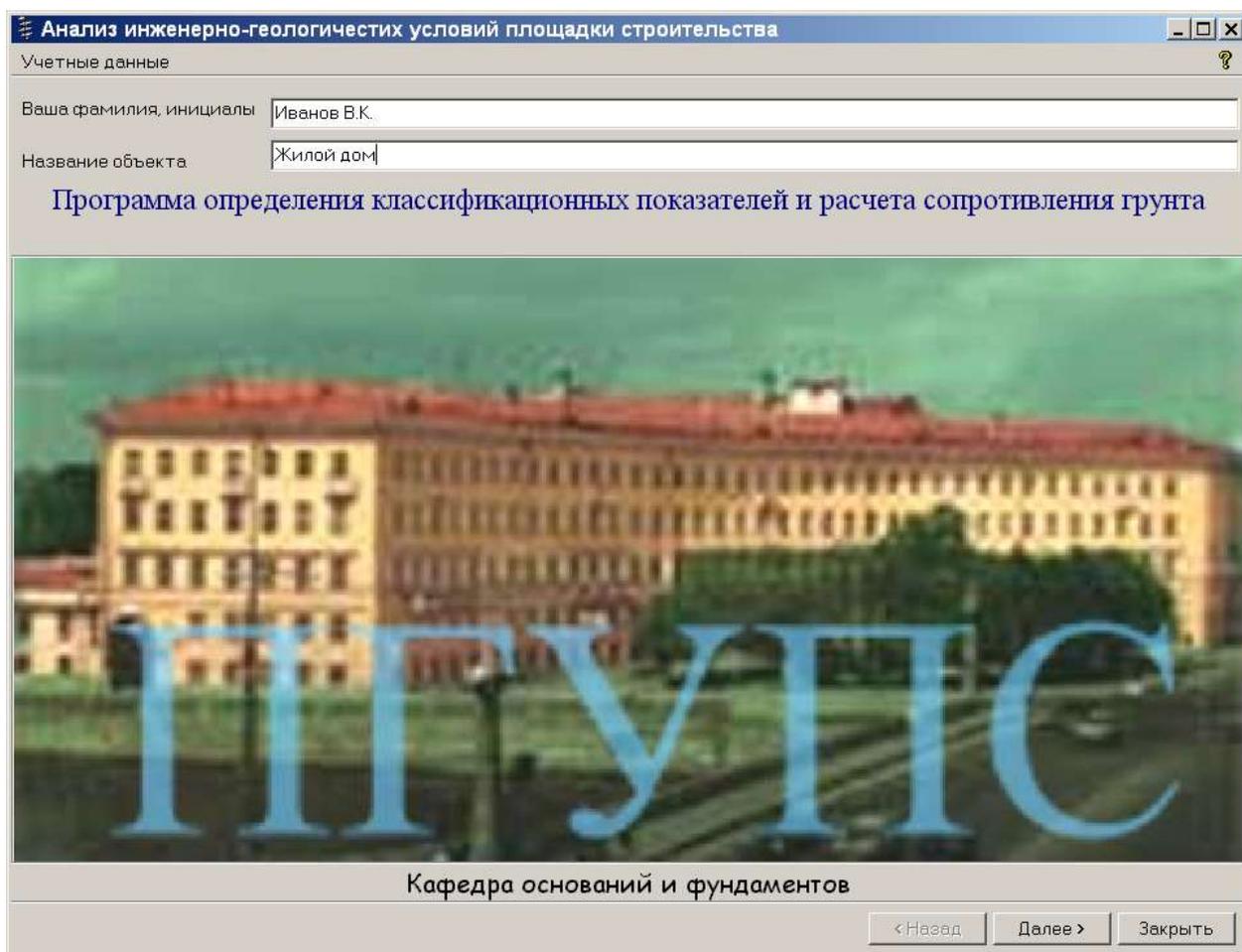


Рис. 2.4. Представление программы GRUNT на экране монитора

Отвечая на задаваемые вопросы, легко осуществить ввод в программу необходимых параметров - исходных данных. Необходимо отметить, что на экране (рис. 2.4) в правом верхнем углу расположен знак ? (помощь), который позволяет получить на экране монитора информацию о программе следующего содержания.

"Программа GRUNT позволяет произвести оценку (анализ) инженерно-геологических условий строительства. Такой анализ обязательно предшествует стадии проектирования фундаментов сооружений и позволяет наиболее обоснованно подойти к вопросам сравнения вариантов фундаментов.

Программа работает в диалоговом режиме и на основе ряда известных характеристик грунта (найденных изыскательской организацией):

γ (кН/м³)- удельного веса грунта в естественном состоянии,

γ_s (кН/м³)- удельного веса минеральных частиц грунта,

φ (град.)- угла внутреннего трения грунта,

C (кПа)- сцепления связных грунтов,

E_0 (кПа)- модуля общей деформации грунта,

W (доли единицы)- природной влажности грунта,

A ТАКЖЕ ДЛЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ:

W_L (доли единицы)- влажности на границе текучести,

W_p (доли единицы)- влажности на границе раскатывания,

которые можно охарактеризовать как исходные данные, программа определяет дополнительные характеристики состояния грунта:

- удельный вес сухого грунта

$$\gamma_d = \gamma / (1 + W) \text{ (кН / м}^3\text{)};$$

- коэффициент пористости

$$e = (\gamma_s - \gamma_d) / \gamma_d$$

- степень влажности грунта

$$G = W \times \gamma_s / (e \times \gamma_w)$$

ДЛЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ:

- показатель консистенции (текучести)

$$\mathfrak{I}_L = (W - W_p) / (W_L - W_p)$$

- число пластичности

$$\mathfrak{I}_p = W_L - W_p$$

По количественным величинам характеристик состояния грунта даётся качественный анализ данного грунта, который производится в соответствии с требованиями ГОСТ 25100-82 и рекомендаций "Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). М. Стройиздат, 1986".

При анализе строительных свойств грунтов одной из важнейших характеристик является величина расчётного сопротивления грунта - R_0 . В программе эта характеристика определяется в соответствии с рекомендациями СНиП 2.02.01-83 (приложение 3).*

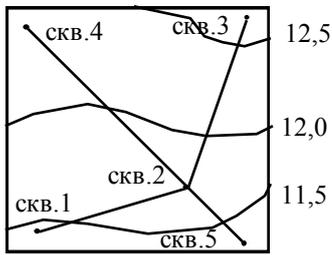
Величина R_0 (МПа) для каждого слоя грунта определяется интерполяцией по табличным значениям СНиП в зависимости от плотности сложения, показателя консистенции (текучести \mathfrak{L} для глинистых грунтов).

Выходные параметры программы представлены в виде таблицы основных характеристик всех слоёв грунта. Используя эти значения, пользователь может дать объективную качественную оценку строительных свойств грунтов всего геологического разреза.

Второй блок выходной информации в наглядной графической форме представляет эпюру изменения расчётного сопротивления (R_0) различных слоёв грунтов основания по глубине. Анализируя эти данные, не трудно выявить относительно слабые слои грунта и хорошие (надёжные), что позволяет более обоснованно подойти к вопросу вариантного проектирования фундаментов."

Последовательный ввод с экрана монитора запрашиваемых величин - характеристик грунтов (см. выше) позволяет достаточно просто работать с данной программой. Для примера рассмотрим геологические условия площадки строительства на рис. 2.5.

ОБОЗНАЧЕНИЯ :



Почвенно-растительный слой



Песок мелкий : $\gamma = 19 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$

$W=0,21$; $\phi = 28^\circ$; $E = 18000 \text{ кПа}$

$W=0,6$ - ниже У.Г.В.

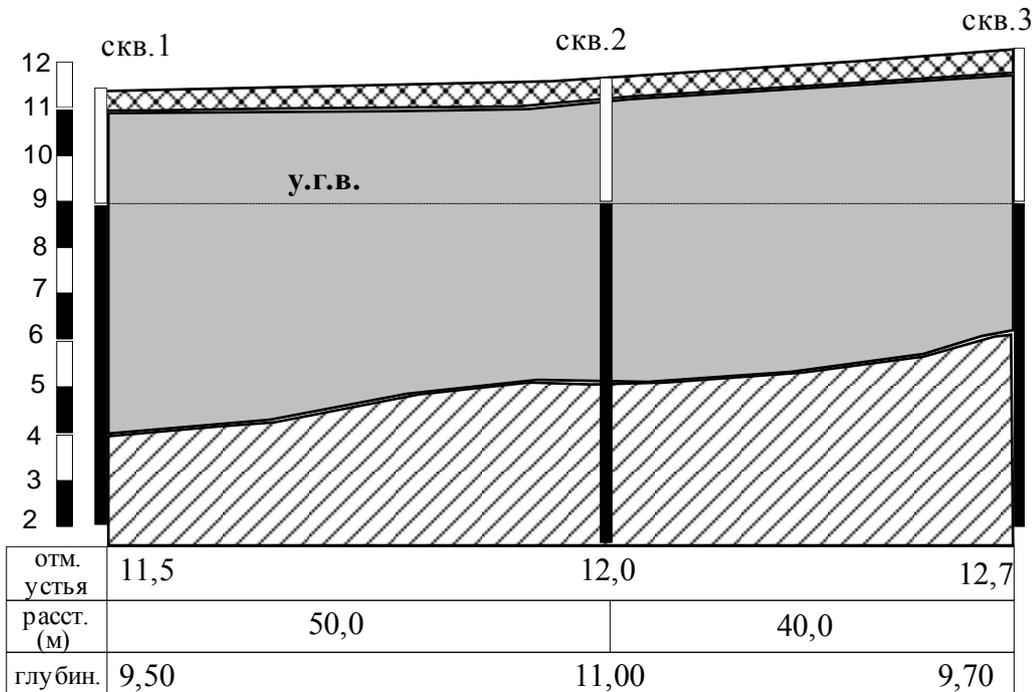


Суглинок : $\gamma = 21,1 \text{ кН/м}^3$; $\gamma_s = 26,7 \text{ кН/м}^3$

$W=0,17$; $W_p = 0,15$; $W_L = 0,31$

$E_0 = 24000 \text{ кПа}$; $\phi = 24^\circ$; $C = 28 \text{ кПа}$

Р А З Р Е З 1 - 1



Место строительства г. С.-Петербург

Рис. 2.5. Пример исходных данных геологических условий по программе GRUNT

Отвечая на вопросы программы, путём ввода для первого слоя грунта (мелкого песка, рис. 2.5) его исходных грунтовых характеристик, получим на экране монитора окно, следующего вида (рис. 2.6.).

Определение характеристик слоя № 1

Определение наименования песчаного грунта по плотности сложения

W [доли единиц] природная влажность грунта

γ [кН/м³] удельный вес грунта в естественном состоянии

γ_s [кН/м³] удельный вес минеральных частиц грунта

Коэффициент пористости $e=0,69$

По таблице ГОСТ 25100-83 определите вид песчаного грунта по плотности сложения (Песок мелкий)

| Наименование | Плотные | Средней плотности | Рыхлые |
|---|------------|------------------------|------------|
| Песок гравелистый, крупный, средней крупности | $e < 0,55$ | $0,55 \leq e \leq 0,7$ | $e > 0,7$ |
| Песок мелкий | $e < 0,6$ | $0,6 \leq e \leq 0,75$ | $e > 0,75$ |
| Песок пылеватый | $e < 0,6$ | $0,6 \leq e \leq 0,8$ | $e > 0,8$ |

Рис. 2.6. Таблица классификации песков по плотности

Из рис. 2.6. видно, что при $e = 0,69$ мелкий песок будет находиться в состоянии средней плотности. Ответив на вопросы экрана и нажав, с помощью мышки, клавишу «Далее >», получим следующее окно (рис.2.7.).

Определение характеристик слоя № 1

Определение наименования песчаного грунта по степени влажности

По табл. ГОСТ 25100-82 определите разновидность песчаного грунта по степени влажности $S=0,81$

| Наименование грунтов | Степень влажности |
|----------------------|--------------------|
| Маловлажные | $0 < S \leq 0,5$ |
| Влажные | $0,5 < S \leq 0,8$ |
| Насыщенные водой | $0,8 < S \leq 1,0$ |

Рис. 2.7. Таблица классификации песков по степени влажности

Выбирая из таблицы на рис.2.7 состояние грунта, отвечающее степени влажности $S=0,81$ <насыщенные водой>,<Далее>, получим следующее окно (рис.2.8).

Определение характеристик слоя № 1

Определение значения расчетного сопротивления песчаного грунта

По таблице 2 приложения 3 СНиП 2.02.01-83 определите значение расчетного сопротивления грунта (Песок мелкий, средней плотности, насыщенный водой)

| Плотность сложения песков | Значения R_0 , кПа | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|
| | Плотные | Средней плотности |
| Крупные | 600 | 500 |
| Средней крупности | 500 | 400 |
| Мелкие | | |
| Маловлажные | 400 | 300 |
| Влажные и насыщенные водой | 300 | 200 |
| Пылеватые | | |
| Маловлажные | 300 | 250 |
| Влажные | 200 | 150 |
| Насыщенные водой | 150 | 100 |

R_0 [кПа] расчетное сопротивление грунта

Рис. 2.8. Таблица определения расчётного сопротивления грунта (R_0) для песков

Из представленной таблице (рис.2.8) не трудно по уже известному состоянию песка, определить значение R_0 . Выбрав из представленной таблицы $R_0 = 200$ и нажав на клавишу «Закончить», программа закончит рассматривать первый слой грунта по примеру рис.2.5 и перейдёт к второму слою - мелкому песку, расположенному ниже У.Г.В., т.е. находящемуся во взвешенном состоянии с $\gamma_{вз.}=15,1$ кН/м³ и $W = 0,6$. Выполнив для данного слоя грунта процедуры, аналогичные выше приведенным, программа перейдёт к третьему слою грунта - суглинку (см. рис.2.5.).

Для глинистых грунтов, в отличии от песчаных, после ввода ряда характеристик, получим информационное окно следующего содержания (рис.2.9).

Определение характеристик слоя № 1

Определение наименования глинистого грунта (продолжение 1)

По таблице ГОСТ 25100-82 определите тип глинистого грунта по числу пластичности $\mathfrak{I}_p = 16\%$ и разновидность грунта по консистенции, показатель текучести $\mathfrak{I}_L = 0,13$

| Тип грунта | $\mathfrak{I}_p, \%$ | Разновидность грунта | \mathfrak{I}_L |
|------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Супеси | | | |
| Супесь | $1 \leq \mathfrak{I}_p \leq 7$ | Твердые | $\mathfrak{I}_L < 0$ |
| | | Пластичные | $0 \leq \mathfrak{I}_L \leq 1$ |
| | | Текучие | $\mathfrak{I}_L > 1$ |
| Суглинки и Глины | | | |
| Суглинок | $7 \leq \mathfrak{I}_p \leq 17$ | Твердые | $\mathfrak{I}_L < 0$ |
| | | Полутвердые | $0 \leq \mathfrak{I}_L \leq 0,25$ |
| Глина | $\mathfrak{I}_p > 17$ | Тугопластичные | $0,25 \leq \mathfrak{I}_L \leq 0,5$ |
| | | Мягкопластичные | $0,5 \leq \mathfrak{I}_L \leq 0,75$ |
| | | Текучепластичные | $0,75 \leq \mathfrak{I}_L \leq 1$ |
| | | Текучие | $\mathfrak{I}_L > 1$ |

Тип грунта:

Разновидность грунта:

Рис. 2.9. Таблица классификации состояния глинистых грунтов по показателю текучести \mathfrak{I}_L (консистенции)

Из показаний экрана (рис.2.9) видно, что при $\mathfrak{I}_p = 16\%$ и $\mathfrak{I}_L = 0,13$ будем иметь <суглинок>-<полутвёрдый>.

Последующая работа в диалоговом режиме, с использованием при вводе исходных данных (рис. 2.5) рассматриваемого примера, приводит к появлению на экране дисплея окна следующего содержания (рис. 2.10).

Определение характеристик слоя № 1

Определение значения расчетного сопротивления глинистого грунта

По таблице 3 приложения СНиП 2.02.01-83 определите граничные значения условного расчетного сопротивления по коэффициенту пористости $e=0,48$ (Суглинок) и показателю текучести $\zeta_L=0,13$

| Тип грунта | Коэффициент пористости e | Значение R_0 (кПа) при показателе текучести грунта | |
|------------|----------------------------|--|-------------|
| | | $\zeta_L=0$ | $\zeta_L=1$ |
| Супеси | 0,5 | 300 | 300 |
| | 0,7 | 250 | 200 |
| Суглинки | 0,5 | 300 | 250 |
| | 0,7 | 250 | 180 |
| | 1,0 | 200 | 100 |
| Глины | 0,5 | 600 | 400 |
| | 0,6 | 500 | 300 |
| | 0,8 | 300 | 200 |
| | 1,1 | 250 | 100 |

Значение R_0 принимается при $e=0,5$

Значение R_0 при $\zeta_L=0$ и $\zeta_L=1$

Значение $R_0=293,75$

Рис. 2.10. Таблица определения расчётного сопротивления грунта (R_0) для глинистых (связных) грунтов

Из представленной таблицы (рис.2.10.) значения R_0 определяются с использованием методики интерполяции. Для этого, отвечая на задаваемые вопросы, необходимо ввести значения R_0 при $\zeta_L=0$ <300> и $\zeta_L=1$ <250> (для суглинка). Поскольку действительная величина показателя текучести $\zeta_L=0,13$ (см. рис. 2.9), то после интерполяционных вычислений, программа определит величину $R_0 = 293,75$ кПа (см. рис. 2.10).

При завершении ввода исходных характеристик всех расчётных слоёв геологического разреза, на экране дисплея появится сводная таблица расчётных физико-механических характеристик грунтов (рис. 2.10, 2.11). Если количество рассматриваемых слоёв грунта превышает трёх, то таблица на рис. 2.11 имеет продолжение, выводимое с экрана дисплея.

| № Слоя | 1 | 2 | 3 |
|--|--------------|--------------|----------------------|
| Наименование грунта | Песок мелкий | Песок мелкий | Суглинок полутвердый |
| Мощность слоя, м | 3 | 4 | 4 |
| Удельный вес грунта γ , кН/м ³ | 19 | 15,1 | 21,1 |
| Коэффициент пористости e | 0,69 | 1,81 | 0,48 |
| Степень влажности S | 0,81 | 0,88 | 0,94 |
| Показатель текучести \mathcal{Z}_L | | | 0,13 |
| Угол внутреннего трения φ , град. | 28 | 28 | 24 |
| Сцепление C , кПа | 0 | 0 | 28 |
| E_0 , кПа | 18000 | 18000 | 24000 |
| R_0 , кПа | 200 | 100 | 294 |

Рис. 2.11. Таблица расчётных физико-механических характеристик грунтов по заданному инженерно-геологическому разрезу (рис. 2.5)

Наиболее важной расчётной характеристикой, позволяющей качественно оценить прочностные свойства слоёв грунта, является величина расчётного сопротивления (R_0). Изменение данной характеристики грунтов по глубине рассматриваемого разреза, по желанию пользователя может быть представлено на экране компьютера в виде эпюры $R_0=R_0(H)$ (рис. 2.12).

Эпюра на рис. 2.12 достаточно наглядно даёт представление о характере изменения расчётного сопротивления по глубине основания, позволяя выявить относительно "слабые" и "прочные" слои грунта. Такая интерпретация результатов расчёта даёт возможность обоснованно подойти к выбору несущего слоя грунта основания при вариантном проектировании фундаментов сооружений.



Рис. 2.12. Эпюра изменения расчётного сопротивления (R_0) отдельных слоёв грунта по глубине (H) рассматриваемого геологического разреза

Следует отметить, что результаты проведенного анализа инженерно-геологических условий площадки строительства (рис. 2.11 и 2.12), по желанию пользователя могут быть выведены на принтер и приложены в качестве графического материала к отчёту. Для этого они предварительно должны быть сохранены в одной из расчетных папок.

3. РАСЧЁТ ФУНДАМЕНТОВ ПО ЗАДАННОЙ ОСАДКЕ С УЧЁТОМ ДВУХ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ (ПРОГРАММА NL)

Данная программа позволяет рассчитывать фундаменты для оснований, работающих как в линейно-деформируемой стадии, так и упруго-пластической [1,2,3,4]. Эта особенность дает возможность проектировать фундаменты задавая определённой (одинаковой) величиной осадки для всего сооружения (второе предельное состояние), а такие фундаменты, получая минимальную неравномерность относительной осадки, создают наиболее благоприятные условия для работы надземных частей сооружения (отсутствие причин образования трещин и необходимости устройства осадочных швов). Кроме этого возникает возможность передавать на основание давление превышающие расчетное сопротивление грунта, с обязательной проверкой несущей способности

основания (первое предельное состояние) и, таким образом, получать более экономичные конструкции с заданной степенью надежности.

Работая в диалоговом режиме, пользователь прежде всего вводит с помощью клавиатуры учётные данные по рассчитываемому объекту и своё Ф.И.О., получая на экране информационное окно следующего вида (рис. 3.1.).

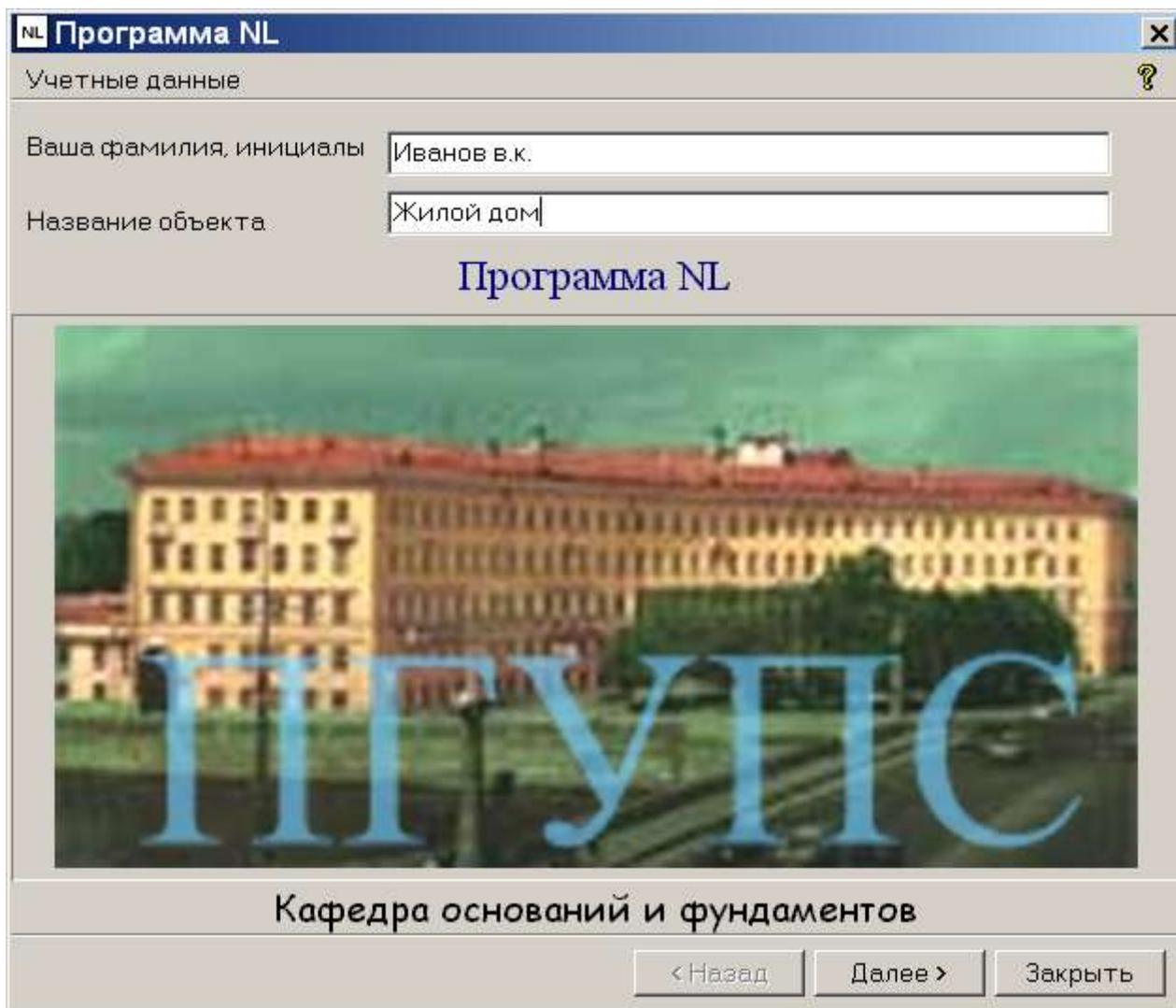


Рис. 3.1. Представление программы NL на экране монитора в момент начала работы

3.1. Ввод данных по физико-механическим характеристикам грунтов основания и параметрам фундамента

Диалоговый режим программы предлагает на выбранной строительной площадке ввести расчётные физико-механические характеристики всех слоёв грунта, рассматриваемого геологического разреза, начиная с поверхности.

Следуя исходным данным примера гл. 2 (рис. 2.5), при вводе физико-механических характеристик 1 -го слоя грунта, на экране дисплея появятся таблицы - окна, следующего содержания (рис. 3.2., 3.3.).

Грунтовый слой № 1

| | | | |
|---------------------------------|------|---|-------|
| Физические характеристики | | Деформативные характеристики | |
| H [м] | 3 | E_0 [кПа] | 18000 |
| γ_1 [кН/м ³] | 18,2 | μ | 0,3 |
| γ_2 [кН/м ³] | 19 | Плотность сложения грунтов | |
| Прочностные характеристики | | <input type="radio"/> Слабые <input checked="" type="radio"/> Средней плотности <input type="radio"/> Плотные | |
| φ_1 [град.] | 25 | $\gamma_{с1}$ | 1,3 |
| φ_2 [град.] | 28 | $\gamma_{с2}$ | 1,1 |
| C_1 [кПа] | 0 | K | 1 |
| C_2 [кПа] | 0 | | |

OK Отмена

Рис. 3.2. Информационное окно ввода данных по характеристикам грунта

Программа NL

Ввод данных по слоям грунта

| | |
|---------------------------------|-------------------|
| № слоя | 1 |
| H [м] | 3 |
| γ_1 [кН/м ³] | 18,2 |
| γ_2 [кН/м ³] | 19 |
| φ_1 [град.] | 25 |
| φ_2 [град.] | 28 |
| C_1 [кПа] | 0 |
| C_2 [кПа] | 0 |
| E_0 [кПа] | 18000 |
| μ | 0,3 |
| Грунт | Средней плотности |
| $\gamma_{с1}$ | 1,3 |
| $\gamma_{с2}$ | 1,1 |
| K | 1 |

< Назад Далее > Закрыть

Рис. 3.3. Таблица введённых исходных данных по физико-механическим характеристикам 1-го слоя грунта по примеру на рис. 2.5

В верхнем левом углу рис. 3.3. представлены семь управляющих «системных» значков при наведении на которые мышкой – курсором, можно получить информацию их предназначения следующего содержания (слева на право):

- загрузить данные по слоям;
- сохранить данные по слоям;
- добавить слой грунта;
- удалить слой грунта;
- изменить текущий слой грунта;
- переместить текущий слой грунта влево;
- переместить текущий слой грунта вправо.

Таким же способом, манипулируя мышкой – курсором по информационному окну на рис. 3.2., можно получить исходную информацию по вводимым, согласно *СНиП 2.02.01-83**, характеристикам грунта. В результате на представляет сложности выполнить, в случае необходимости, любые изменения по физико – механическим свойствам грунтов основания.

Подобным же образом вводятся характеристики для всех слоёв геологического разреза. По рассматриваемому примеру на рис. 3.4. приведены данные для 3-х слоев грунта.

Такая же коррекция может быть выполнена и по вводу основных конструктивных параметров проектируемого фундамента (подпорной стены), следующих за вводом характеристик грунта (рис. 3.5.).

Информация на рис. 3.5. позволяет не только проконтролировать введённые данные, но представляет уже рассчитанные программой результаты - это приведённая глубина заложения фундамента, дополнительные нагрузки M, Q - действующие по подошве фундамента от бокового давления грунта (для зданий с подвалом или подпорных стенок), а также схему приложения нагрузок на обрез фундамента.

Если при вводе какой-либо информации допущена ошибка, или возникла необходимость изменить некоторые введённые параметры, выполнить такую

коррекцию не представляет труда (см. ранее) и в результате получить уточнённые исходные данные для дальнейшего расчёта.

| № слоя | 1 | 2 | 3 |
|---------------------------------|-------------------|--------|---------|
| H [м] | 3 | 4 | 4 |
| γ_1 [кН/м ³] | 18,2 | 14 | 19,2 |
| γ_2 [кН/м ³] | 19 | 15,1 | 21,1 |
| φ_1 [град.] | 25 | 25 | 20 |
| φ_2 [град.] | 28 | 28 | 24 |
| C_1 [кПа] | 0 | 0 | 18 |
| C_2 [кПа] | 0 | 0 | 28 |
| E_0 [кПа] | 18000 | 18000 | 24000 |
| μ | 0,3 | 0,3 | 0,35 |
| Грунт | Средней плотности | Слабый | Плотный |
| $\gamma_{с1}$ | 1,3 | 1,3 | 1,25 |
| $\gamma_{с2}$ | 1,1 | 1,1 | 1 |
| K | 1 | 1 | 1 |

Рис. 3.4. Таблица введённых исходных данных по физико-механическим характеристикам 3-х слоев грунта по примеру на рис. 2.5.

В случае проектирования подпорной стенки, необходимо отметить данную опцию в окне на рис. 3.5., при этом ввести:

- нулевые нагрузки, действующие по верху стенки;
- глубину обратной засыпки равной высоте стенки;
- глубина по подвалу будет в данном случае обозначать разность между высотой стенки и глубиной заложения;
- толщину пола подвала принять равным нулю.

NL Программа NL

Ввод данных по фундаменту

Номер фундамента, сечения

Тип фундамента: Ленточный Столбчатый

Тип стены: Наружная Внутренняя

Наличие подвала: Подвал есть Подвала нет

Шаг колонн [м]

N=L/B

Высота [м]

Глубина [м]

Данные по подвалу:

Глубина [м]

Толщина пола [м]

Удельный вес [кН/м³]

Подпорная стенка работает как консоль

Заданные нагрузки:

N [кН]

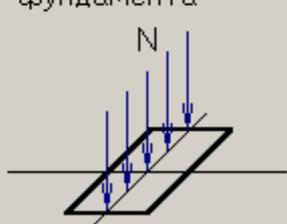
Q_в [кН]

M_в [кН·м]

Q_л [кН]

M_л [кН·м]

Схема приложения нагрузок на обрез фундамента



Полученные параметры:

Приведенная глубина заложения фундамента: 0,64 м

Дополнительные нагрузки по подошве фундамента от бокового давления грунта:

M = 1,42 кН·м

Q = 3,03 кН

< Назад Далее > Заккрыть

Рис. 3.5. Информация на экране монитора после ввода основных конструктивных параметров для фундамента по примеру гл.2 (рис. 2.5)

Следует отметить, что в правом верхнем углу окна (рис. 3.5.) представлены два системных значка, позволяющие сохранить и, в случае необходимости, загрузить сохраненные исходные данные по проектируемому фундаменту (подпорной стенки), что позволяет значительно сократить время расчета при выполнении нескольких расчетных сечений для одного и того же сооружения.

3.2. Расчетные выходные параметры программы

Следующий этап расчёта программы «Расчет ширины подошвы» (левая половина рис. 3.6.) предлагает пользователю ввести осадку (S), при которой он желает определить размеры ширины (B) подошвы фундамента. Рекомендуется первое значение осадки вводить равное предельной величине для данного типа

сооружения (табл. 4. СНиП 2.02.01-83*), последовательно уменьшая вводимые значения.

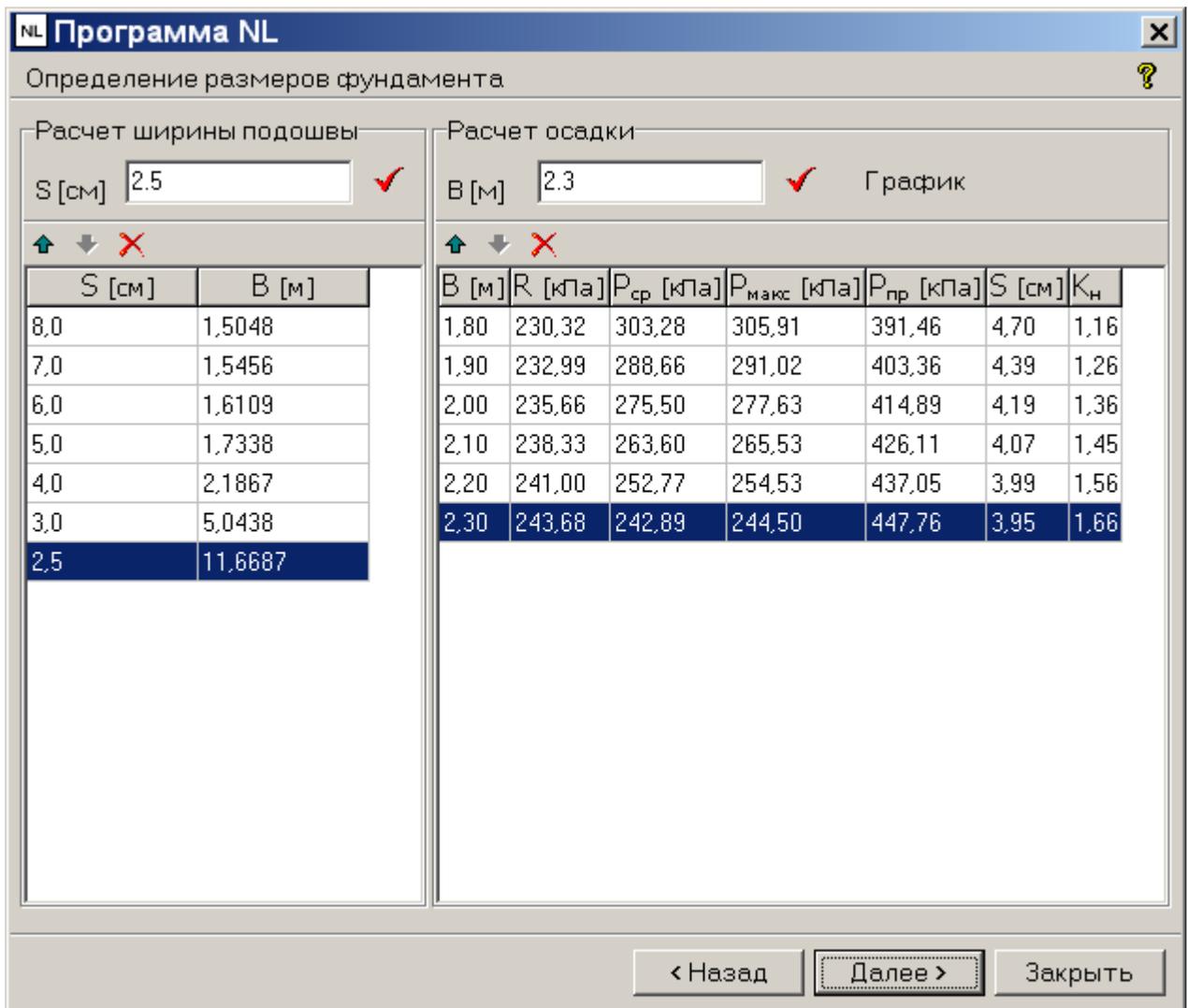


Рис. 3.6. Образец окна - результатов расчёта по примеру гл.2 (рис. 2.5) для ленточного фундамента

Результаты подобных вычислений могут быть представлены графически в виде функции $B=B(S)$, которая изображается на экране монитора при нажатии кнопки (опции) «график» в правом верхнем углу окна на рис. 3.6. Пример построения подобного графика приведен на рис. 3.7.

Следующий этап расчёта программы «Расчет осадки» (правая половина рис. 3.6.) предлагает пользователю ввести размер ширины подошвы (B) фундамента и по данной величине производится вычисление таких параметров как:

- расчетное сопротивление грунта основания, R ;
- среднее давление под подошвой фундамента, P_{cp} ;
- максимальное давление под подошвой фундамента, P_{max} ;

- предельное давление под подошвой фундамента, $R_{пр}$;
- осадка, S (2^е предельное состояние по СНиП 2.02.01-83*);
- коэффициент надежности основания, K_n (1^е предельное состояние по СНиП 2.02.01-83*).

Все вычисленные параметры изображены в табличной форме и наглядно дают представление о напряженно-деформированном состоянии основания, позволяя выбрать наиболее экономичный фундамент с заданной степенью надежности.

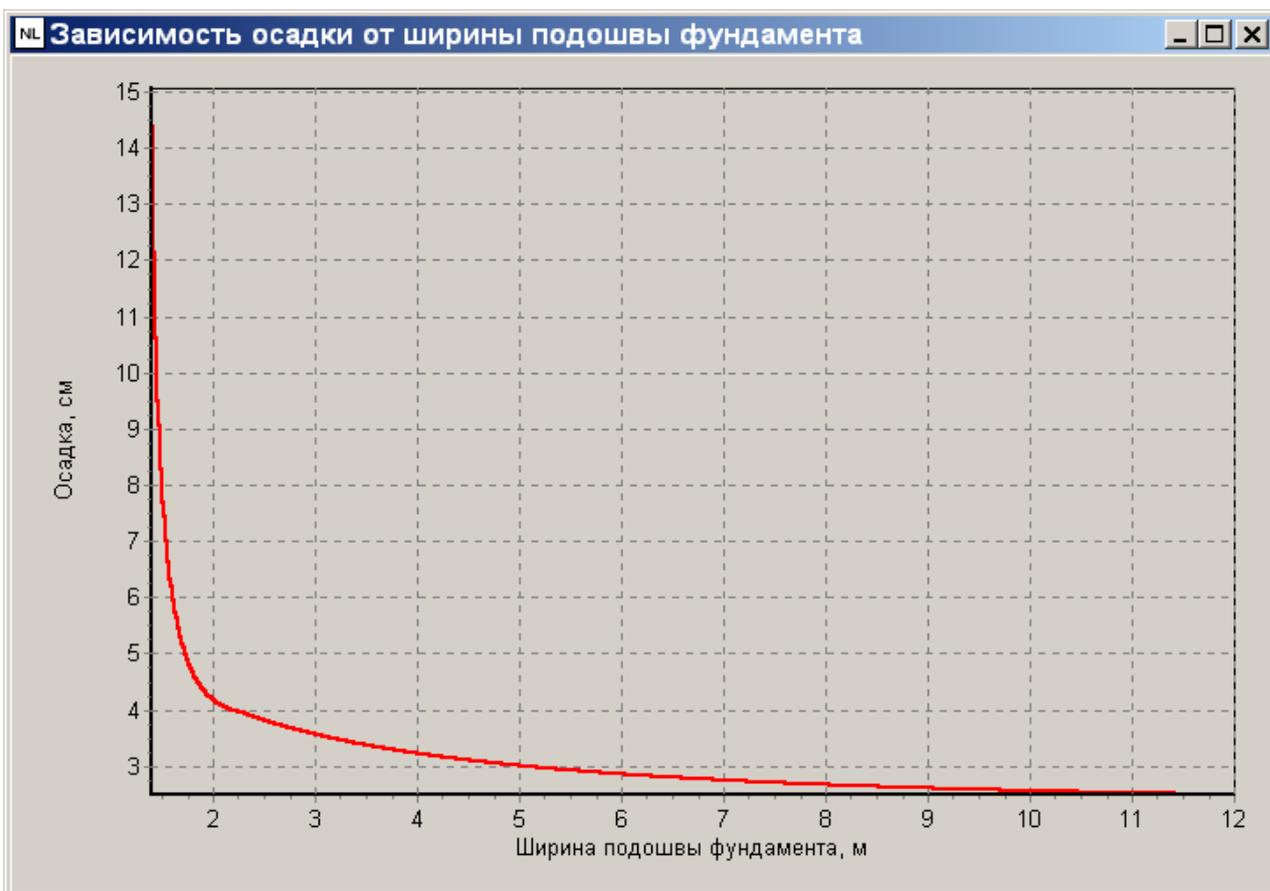


Рис. 3.7. Графическое изображение результатов ширины подошвы (В) ленточного фундамента от заданной осадки (S) по примеру гл.2 (рис. 2.5) и принятых условий нагружения (рис.3.5.)

Из рис. 3.6. (левая сторона) и графика на рис. 3.7. видно, что при заданной осадке 4 см, по результатам расчёта получена ширина подошвы фундамента 2,18 м; пользователь же (учитывая условия унификации) ввёл размер подошвы (ширина ленточного фундамента) 2,2 м и для этой величины получил таблицу результатов расчета (правая сторона на рис. 3.6.) При этом оказалось что и среднее напряжение под подошвой фундамента $R_{ср} = 252,77$ кПа и тем

более максимальное давление под подошвой $R_{\text{макс}} = 254,53$ кПа больше расчётного сопротивления основания $R = 241$ кПа. Следовательно система фундамент - основание работает в упруго-пластической стадии деформирования и поэтому необходимо выполнить расчёт по несущей способности основания (I-пред. состояние по СНИП) или, иначе, одновременно расчёт по двум предельным состояниям.

Результаты такого расчёта представлены последними двумя столбцами таблицы (правая сторона на рис. 3.6.). Так, полученная величина осадки составила 3,99 см ($< S_{\text{ц}}$, следовательно выполняется условия расчёта по деформациям), а коэффициент надёжности равен 1,56 ($> 1,2$ - выполнение условий расчёта по несущей способности основания). *Оба эти критерия позволяют обоснованно, с заданной степенью надёжности, решить вопрос о выборе размеров подошвы фундамента.*

3.3. Интерпретация результатов расчета

Выполнение результатов расчёта, представленное на рис. 3.6. (правая сторона), может быть повторено любое количество раз в зависимости от вводимого размера подошвы фундамента. В рассматриваемом примере расчёты были выполнены 6 раз при $B = 1,80; 1,90; 2,00; 2,10; 2,20; 2,30$; м. Результаты последнего расчёта обычно определяются условием $P_{\text{ср.}} \leq R$.

По итогам расчёта видно, что для фундаментов с шириной подошвы $B=1,80$ м, коэффициент надёжности принимаемых решений меньше заданного ($K_{\text{н}} = 1,2$). Следовательно такие фундаменты не могут быть приняты к проектированию из-за невыполнения условий расчёта по первому предельному состоянию. Для фундаментов с шириной подошвы $B = 1,90; 2,00; 2,10; 2,20; 2,30$; м выполняются условия по двум критериям одновременно, однако фундамент с $B=1,90$ м ($S = 4,39$ см $< S_{\text{ц}}$; $K_{\text{н}}=1,26>1,2$) обладает по сравнению с другими, меньшими размерами и поэтому наиболее экономичен, следовательно, его и принимаем в качестве основного. Размер ширины подошвы фундамента 2,3 м

ограничивает рассматриваемый расчёт, т.к. в этом случае $P_{\text{ср.}} = 242,89 \text{ кПа} < 243,68 \text{ кПа} = R$ (т.е. выполняются условия СНиП 2.02.01-83*)(рис. 3.6.).

Таким образом данная программа позволяет рассчитывать фундаменты, работающие как на линейно-деформированном основании, так и в упруго-пластической стадии деформирования. В последнем случае, при передачи давления $P_{\text{ср.}} > R$ ($288,66 > 232,99 \text{ кПа}$ - по рассматриваемому примеру) необходима проверка основания по несущей способности (или расчёт одновременно по двум предельным состояниям), что и выполняется программой (см. на правой стороне рис. 3.6. в таблице строку 2).

Следует подчеркнуть, что выполнение подобных расчетов для других сечений фундаментов (с различной степенью нагружения) проектируемого сооружения, целесообразно проводить руководствуясь уже полученной для сечения 1-1 осадкой $S = 4,39 \text{ см}$, получая, таким образом, фундаменты разных размеров, но практически с раной осадкой.

В результате фундаменты получают практически одинаковую абсолютную осадку с минимальной неравномерностью относительной осадки, что создает наиболее благоприятные условия для работы надземных частей сооружения (отсутствие причин образования трещин и необходимости устройства осадочных швов).

3.4. Графические выходные параметры программы

Следующий этап работы программы «NL» позволяет получить графическое изображение запроектированного фундамента (подпорной стенки) на экране монитора. Для этого, нажав в рабочем окне (рис. 3.6.) на кнопку «Далее>», получим на экране компьютера окно соответствующее рис. 3.8.

Данное окно (рис. 3.8.) информирует пользователя о законструируемых им размерах фундамента и приглашает дополнительно ввести:

- размер толщины стены (стакана) подвала;
- размер толщины стены (колонны) здания.

В случае необходимости данные величины могут быть откорректированы.

Следующим этапом, используя в рабочем окне (рис 3.8.) кнопку «Далее>», получим графическое изображение результатов расчета фундамента (подпорной стенки) (см. рис. 3.9.). Представленное изображение расчётного сечения даёт возможность для пользователя визуально просмотреть результаты своего расчёта и, в случае необходимости, провести коррекцию, изменяя те или другие ошибочные параметры.

| | |
|--------------------------------------|-----|
| Полученная ширина подошвы фундамента | 1.9 |
| Толщина стены (стакана) подвала | 0.6 |
| Толщина стены (колонны) здания | 0.4 |

| | |
|---|-----|
| Номер фундамента, сечения | 1-1 |
| Ширина подошвы фундамента [м] | 1.9 |
| Толщина стены (стакана) подвала [м] | 0.6 |
| Толщина стены (колонны) здания [м] | 0.4 |
| Высота фундамента [м] | 2.2 |
| Глубина заложения фундамента [м] | 1.5 |
| Расстояние от уровня планировки до пола подвала [м] | 0.9 |
| Толщина конструкции пола подвала [м] | 0.2 |

Рис. 3.8. Образец окна – выбора результатов расчета фундамента сечения 1-1 для составления графического изображения по рассматриваемому примеру.

В верхней части окна рис. 3.9. имеются две функциональные кнопки, позволяющие сохранить результаты расчета и изображения полученного рисунка фундамента (подпорной стенки).

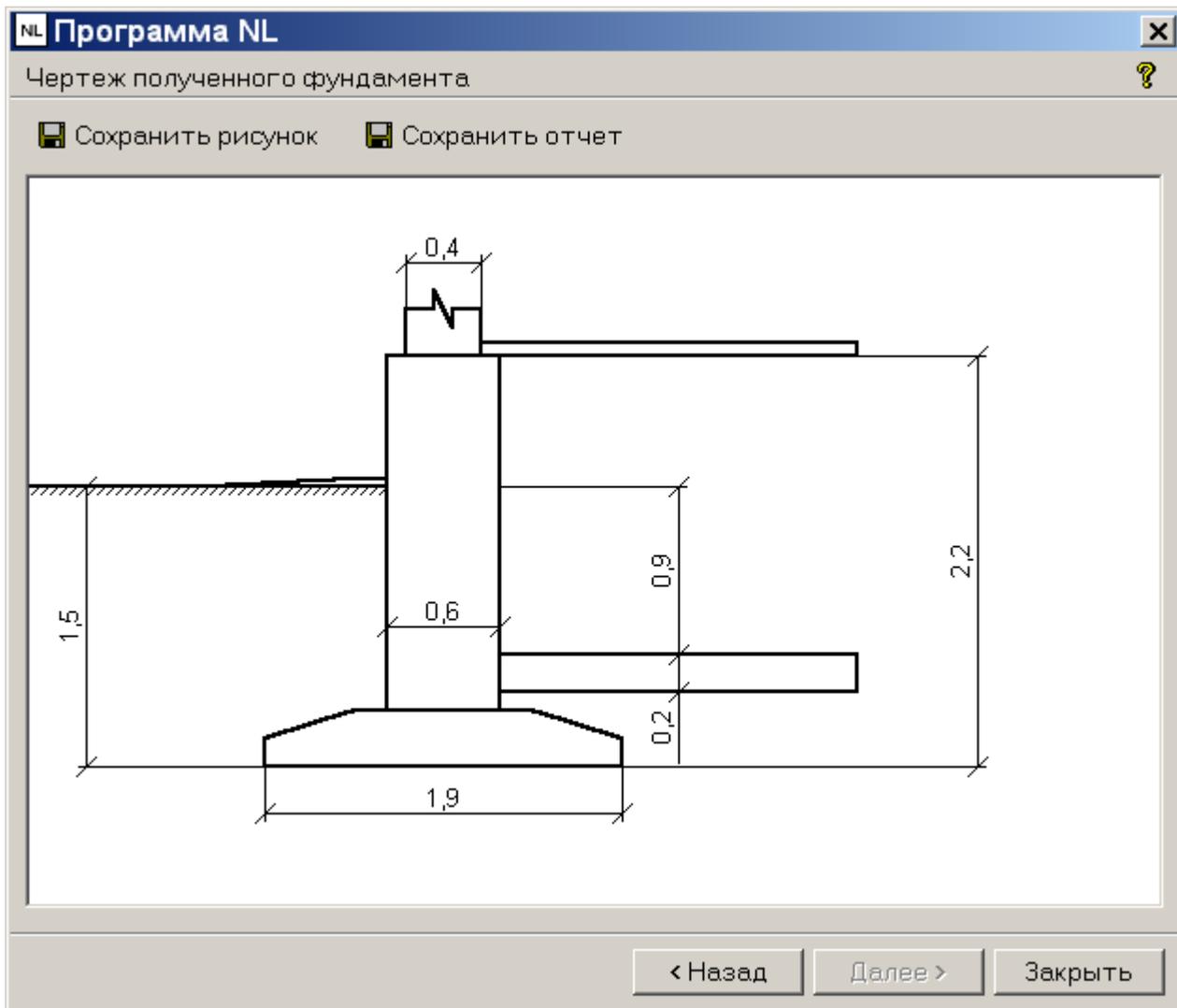


Рис. 3.9. Графическое представление результатов расчёта по программе NL для рассматриваемого примера

Сохраненные результаты расчета могут быть вставлены в любой файл WORD документа и распечатаны в виде приложения к отчету.

Образец распечатки выполненных решений по рассмотренному примеру (гл.2, рис. 2.5. и рис. 3.5.) представлены на рис. 3.10 и 3.11.

3.5. Итоговые результаты расчета по рассмотренному примеру

Расчет ширины подошвы фундамента по двум предельным состояниям Работу выполнил: Иванов В.К. (Жилой дом)

Данные по слоям грунта

| № Слоя | Мощность | Удельный вес | | Прочностные характеристики | | | | Деформативные характеристики | | | Коэффициенты | | |
|-----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------|----------------|------------------------------|-------|----------------------------------|---------------|---------------|---|
| | H, м | γ_1 , кН/м ³ | γ_2 , кН/м ³ | ϕ_1 , град. | ϕ_2 , град. | C_1 , кПа | C_2 , кПа | E_0 , кПа | μ | Плотность сложения грунтов | γ_{c1} | γ_{c2} | K |
| 1 | 3 | 18,2 | 19 | 25 | 28 | 0 | 0 | 18000 | 0,3 | Средней плотности | 1,3 | 1,1 | 1 |
| 2 | 4 | 14 | 15,1 | 25 | 28 | 0 | 0 | 18000 | 0,3 | Слабый | 1,3 | 1,1 | 1 |
| 3 | 4 | 19,2 | 21,1 | 20 | 24 | 18 | 28 | 24000 | 0,35 | Плотный | 1,25 | 1,1 | 1 |

Данные по Фундаменту

| | |
|---|----------------------|
| Номер фундамента, сечения | 1-1 |
| Тип фундамента | Ленточный |
| Тип стены | Наружная |
| Жесткость фундамента | 2,12 |
| Высота фундамента | 2,2 м |
| Глубина заложения фундамента | 1,5 м |
| Расстояние от уровня планировки до пола подвала | 0,9 м |
| Толщина конструкции пола подвала | 0,2 м |
| Расчетное значение удельного веса конструкции подвала | 22 кН/м ³ |
| Приведенная глубина заложения фундамента | 0,64 м |
| Подпорная стенка не работает как консоль | |

Нагрузки

| N, кН | Q _B , кН | M _B , кН·м | Q _L , кН | M _L , кН·м |
|---|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| 500 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Горизонтальная нагрузка от бокового давления грунта | | | | 3,03 кН |
| Момент от бокового давления грунта | | | | 1,42 кН·м |

Результаты расчета

| Заданная осадка S, см | Полученная ширина по- дошвы фундамента B, м |
|-----------------------------|---|
| 8,0 | 1,5003 |
| 7,0 | 1,5410 |
| 6,0 | 1,6057 |
| 5,0 | 1,7287 |
| 4,0 | 2,1867 |
| 3,0 | 5,0438 |
| 2,5 | 11,6687 |

| Принятая ширина подошвы фундамента B , м | Расчетное сопротивление R , кПа | Среднее давление под подошвой $P_{ср}$, кПа | Максимальное давление под подошвой $P_{макс}$, кПа | Предельное сопротивление $P_{пр}$, кПа | Полученная осадка S , см | Коэффициент надежности K_n |
|--|-----------------------------------|--|---|---|----------------------------|------------------------------|
| 1,80 | 230,32 | 303,28 | 305,91 | 391,46 | 4,70 | 1,16 |
| 1,90 | 232,99 | 288,66 | 291,02 | 403,36 | 4,39 | 1,26 |
| 2,00 | 235,66 | 275,50 | 277,63 | 414,89 | 4,19 | 1,36 |
| 2,10 | 238,33 | 263,60 | 265,53 | 426,11 | 4,07 | 1,45 |
| 2,20 | 241,00 | 252,77 | 254,53 | 437,05 | 3,99 | 1,56 |
| 2,30 | 243,68 | 242,89 | 244,50 | 447,76 | 3,95 | 1,66 |

Рис. 3.10. Пример распечатки текстового файла отчета - решений по программе NL для одного из расчётных сечений (1-1) фундамента при различных возможных размерах ширины подошвы

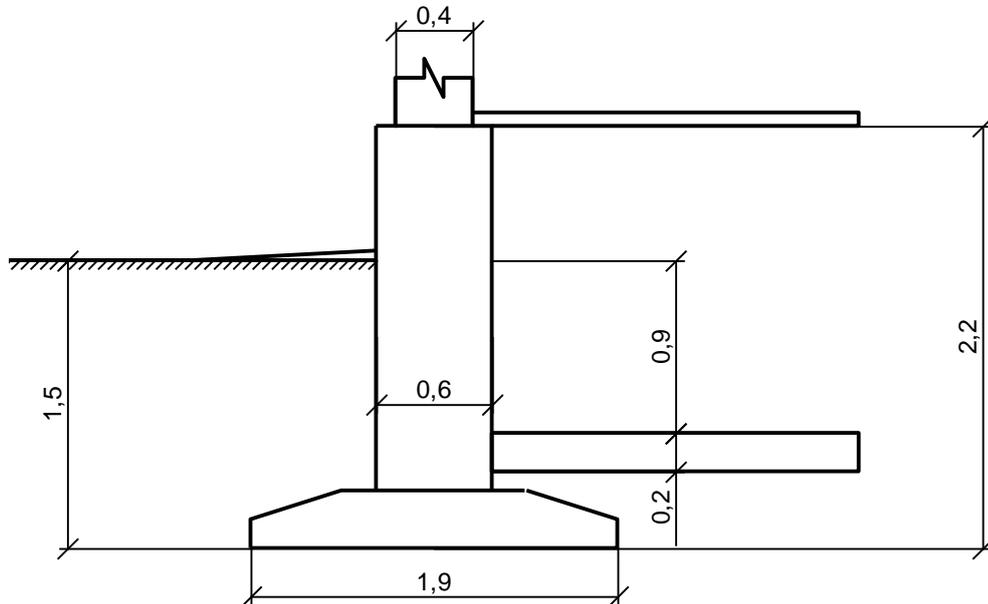


Рис. 3.11. Пример распечатки графического файла отчета - решений по программе NL для одного из расчётных сечений (1-1) фундамента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.И. Реферат программы "NL"// Основания, фундаменты и механика грунтов. М.,1989. №5, с.16.
2. Алексеев С.И. Рекомендации по проектированию фундаментов по заданной осадке с учётом нелинейной работы основания. Псков. Пф ЛПИ. 1990. 42 с.
3. Алексеев С.И. Проектирование фундаментов зданий с одинаковой осадкой. Псков. ППИ СПбГТУ. 1995. 64 с.
4. Алексеев С.И. Автоматизированный метод расчёта фундаментов по двум предельным состояниям. С.-Петербург. СПбГТУ. 1996. 206 с.
5. Алексеев С.И. Использование программного обеспечения в механике грунтов и проектировании фундаменов (учебное пособие). Псков. ППИ СПбГТУ. 1997. 59 с.
6. Мангушев Р.А., Любимов Е.Б. Прикладные аспекты автоматизации проектирования фундаментов. С.-Петербург. СПбГАСУ. 1993. 159 с.