

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ, СООРУЖАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУЙНЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

А.Г. Малинин, канд. техн. наук, член Правления Тоннельной ассоциации России, технический директор

П.А. Малинин, инженер

С.А. Чернопазов, докт. техн. наук, руководитель НИО ЗАО «ИнжПроектСтрой»

В статье приводится информация о разрабатываемых предприятием «ИнжПроектСтрой» программных средствах, предназначенных для выполнения проектных расчетов грунтоцементных ограждений, сооружаемых с применением струйных технологий.

Введение.

В настоящее время при строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки все более широкое применение находят струйные геотехнологии (см. пример на рис.1), которые по экономическим, технологическим и конструктивным возможностям относятся к категории прогрессивных.



Рис. 1. Грунтоцементное ограждение бортов котлована, устроенное предприятием «ИнжПроектСтрой» с применением струйных технологий

Проектные расчеты в условиях тендеров на подобные работы требуют подбора характеристик ограждающей конструкции исходя из минимальных затрат на ее устройство и научной обоснованности проекта по критериям устойчивости и прочности ограждающей конструкции. Отметим, что сегодня на отечественном рынке отсутствуют программные средства для расчета подземных сооружений, устроенных с применением струйных геотехнологий, и учитывающие все особенности этих работ.

В статье приведена информация о новых разработках предприятия «ИнжПроектСтрой» по созданию и развитию компьютерных программ для

геомеханических расчетов конструкций, устраиваемых с применением струйных технологий.

1. Особенности работы грунтоцементного ограждения, устроенного с помощью струйной технологии

В подпорной стене, подверженной действию изгибающего момента, возникают знакопеременные продольные напряжения. Так как грунтобетон имеет пренебрежимо малую прочность на растяжение, растягивающие напряжения в подпорной стене приходятся на армирующие элементы, а в грунтобетоне действуют только сжимающие напряжения.

На величину продольных напряжений в стене также существенно влияют вертикальная составляющая продольных усилий в анкерах и, собственно, вес стены. Таким образом, подпорная стена, подверженная изгибу, будет характеризоваться повреждаемостью грунтобетона в области растягивающих продольных деформаций и как следствие переменными по ее высоте значениями площади поперечного сечения, момента инерции и продольной жесткости.

В случае сложной конструкции ограждения указанные характеристики влияют не только на напряженное состояние стены, но и на продольные усилия в анкерах, т.е. влияют на работу всего ограждения в целом. Для грунтобетонных ограждений задачи расчета изгибающего момента в стене от внешних нагрузок и расчета ограждения на прочность и устойчивость в общем случае являются связанными.

2. Подходы и методы расчета ограждения на прочность и устойчивость, реализованные в компьютерной программе GeoWall

При выборе методов решения задачи устойчивости и прочности ограждающей конструкции был учтен отечественный и зарубежный опыт проектирования гибких загораживающих конструкций, основанный на применении апробированных и подтвержденных практикой подходов.

Усилие на гибкую ограждающую конструкцию со стороны грунта рассчитывается по его предельному состоянию в соответствии с [1]. Реакция на заглубленную часть стены в зонах предельного состояния определяется как разность активного и пассивного давлений в зависимости от направлений смещений в заделке. Если реакция грунтового массива не достигает предельного состояния, то реакция грунта моделируется с помощью коэффициента постели [1].

Сечение стены ограждающей конструкции моделируется эффективными характеристиками жесткости. Форма ненарушенной части сечения грунтобетона в общем случае зависит как от конструктивного исполнения стены, так и от внутренних напряжений и определяется из решения задачи. Эффективные характеристики жесткости вычисляются для сечения стены, состоящей из одного или двух рядов секущихся, касательных или

изолированных грунтобетонных колонн с учетом частичной повреждаемости грунтобетона.

В расчетной модели стена представлена упругой армированной балкой с разрушающейся грунтобетонной матрицей в области действия растягивающих деформаций. Напряженное состояние балки под действием внешней нагрузки рассчитывается методом конечных элементов.

Анкерные крепления, пояса и ростверки моделируются упругими или жесткими связями.

Подбор параметров корня анкера по величине продольной силы можно выполнить с помощью нескольких различных методик, изложенных в научно-нормативной литературе [1]. Кроме того, программа включает методику расчета анкера по немецким стандартам.

Подбор длины анкерной тяги и устойчивость ограждающей конструкции рассчитываются по методу Кранца и по методу выбранной поверхности [1].

Расчет напряжений в сечении армированной стены с разрушающейся грунтобетонной матрицей изложен в [2].

3. Возможности программы GeoWall

Компьютерная программа GeoWall, разработанная специалистами предприятия «ИнжПроектСтрой», выполняет поэтапный расчет устройства ограждающей конструкции решением следующих связанных задач

- Расчет давления на стену ограждения с учетом геологического строения грунтового массива и уровня грунтовых вод (рис.2);

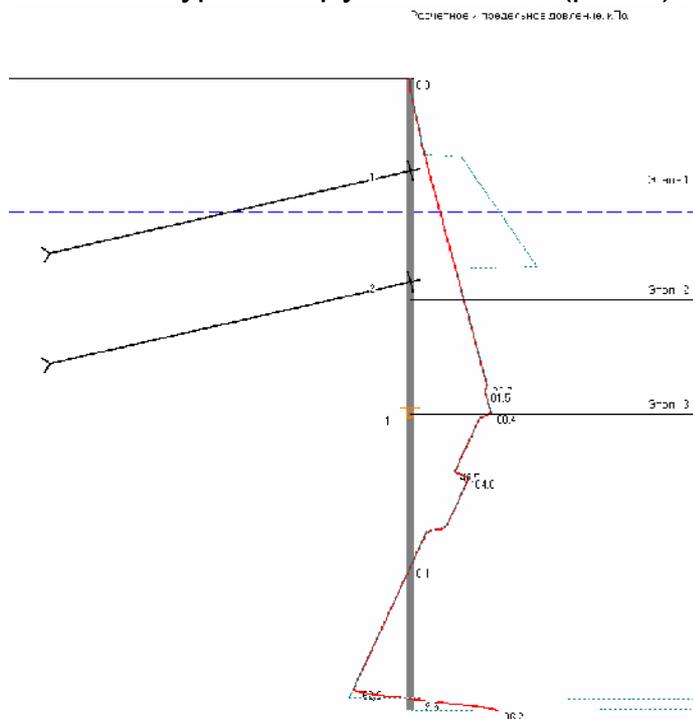


Рис. 2. Расчетное и предельно возможное давление на стену

- Расчет изгибающего момента и продольного усилия в стене (рис. 3);

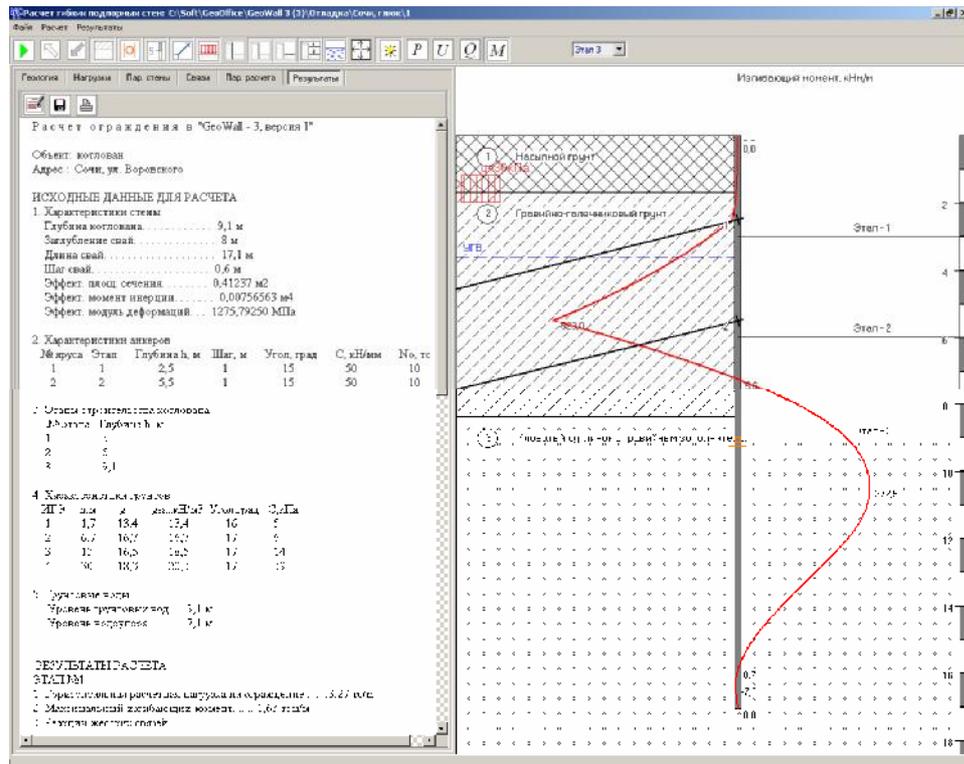


Рис. 3. Основное окно программы GeoWall

- Расчет эффективных значений площади поперечного сечения, момента инерции и модуля продольной жесткости сечений по всей высоте стены с учетом разрушения грунтобетона в области растягивающих деформаций;

- Расчет продольных напряжений определение коэффициентов запаса прочности в армирующем элементе и грунтобетоне (рис.4);
- Расчет реакций жестких и упругих связей;
- Расчет устойчивости ограждающей конструкции;
- Подбор характеристик анкеров.

Программа позволяет:

- Выполнить поэтапный проверочный расчет запроектированного ограждения на прочность и устойчивость;
- Подобрать характеристики анкеров по несущей способности по грунту и устойчивости ограждающей конструкции;
- Подобрать натяжение анкеров;
- Подобрать характеристики стены из условий прочности арматуры, грунтобетона и устойчивости заделки;
- Подобрать характеристики этапов устройства ограждения.

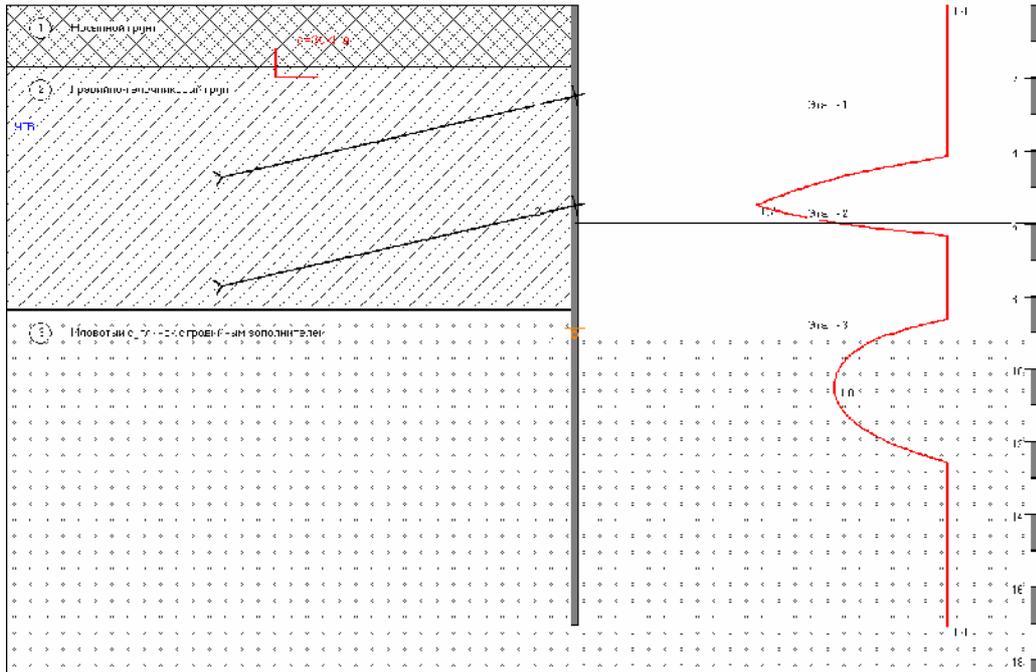


Рис. 4. Коэффициент запаса прочности в грунтобетоне

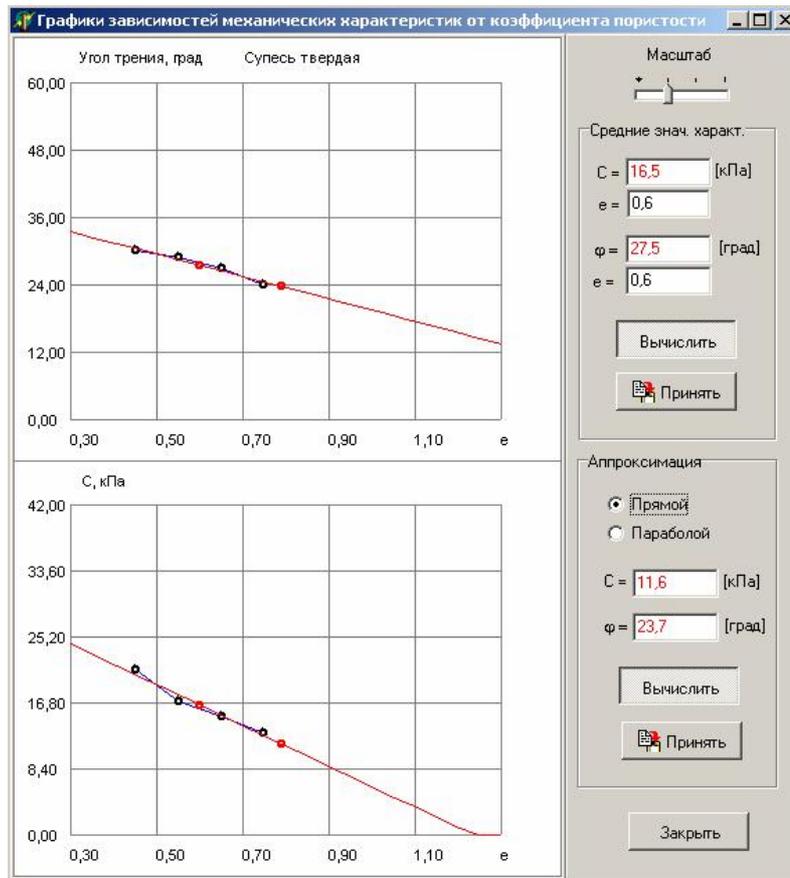


Рис.5. Окно обращения к справочной системе

Дополнительные возможности программы:

- В случае отсутствия расчетных характеристик грунтов по результатам геологических изысканий можно использовать электронный справочник по физико-механическим характеристикам грунтов в соответствии с данными СП 50-101 2004 (рис. 5);
- Оценка эффективных значений площади поперечного сечения, момента инерции и модуля продольной жесткости для сечения стены с учетом разрушения грунтобетона изгибающим моментом;
- Справочные данные по сортаменту труб и профилей;
- Подготовка и печать отчета в файл или на бумажный носитель.

ЭТАП №3

1. Горизонтальная расчетная нагрузка на ограждение.....39,14 тс/м
2. Максимальный изгибающий момент.....52,30 тсм/м
3. Реакции жестких связей
№ связи = 1
Горизонтальная реакция.....0,00 тс/м
Вертикальная реакция.....-12,93 тс/м
Реактивный момент.....0,00 тсм/м
4. Равнодействующая в заделке по предельному состоянию.....8,15 тс/м
5. Равнодействующая упругой реакции заделки.....0,99 тс/м
6. Расчетное продольное усилие в анкерах:
1 - го яруса10,51 тс
2 - го яруса60,48 тс
7. Коэффициент устойчивости заделки по отношению к предельному состоянию
K(+) = 1,50
K(-) = 1,07
МАКСИМАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ:
* Максимальный изгибающий момент.....52,30 тсм/м
* Максимальная продольная сила в анкерах:
№1 - 10,51 тс
№2 - 60,48 тс

Рис. 4. Фрагмент отчета, относящийся к 3 этапу:

Заключение.

Программа GeoWall может успешно применяться для расчета на прочность и устойчивость однорядных и двурядных ограждений из грунтобетонных колонн с учетом возможных разрушений грунтобетона в области действия растягивающих деформаций. Удобный интерфейс программы позволяет без каких-либо затруднений в короткие сроки решать задачи подбора характеристик ограждающих конструкций. Справочные данные программы по характеристикам грунтов позволяют выполнять предварительные оценочные расчеты ограждающих конструкций в случаях отсутствия полных данных о геологическом строении породного массива.

Список литературы

1. Основания, фундаменты и подземные сооружения (Справочник проектировщика). – М.: Стройиздат, 1985.

2. Малинин А.Г., Малинин П.А., Чернопазов С.А. Методика расчета ограждающих конструкций, устроенных с применением струйной геотехнологии // ПСВ, №9.