

Министерство высшего и среднего специального образования
СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

КРЮЧКОВА Сильвия Залмановна

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ОБРАТНЫХ
ЗАСЫПОК ИЗ ЭЛЕМЕНТАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДЫ

Специальность 05.23.08 -- "Технология строительного
производства и организация строительства"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Челябинск - 1975

Работа выполнена при Челябинском политехническом институте
имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Сидюков Г.М.

Научный консультант - лауреат Ленинской премии, заслуженный
строитель РСФСР, профессор Марченко А.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Лофцикий В.Н.,
кандидат технических наук, доцент
Герцев В.Д.

Ведущая организация - ордена Ленина трест "Челябметаллургстрой"

Защита диссертации состоится 3 декабря 1975 года, в 15⁰⁰
часов в ауд. 428 на заседании Совета по присуждению ученых сте-
пеней инженерно-строительного факультета Челябинского политехни-
ческого института имени Ленинского комсомола (454044, г. Челябинск,
44, проспект им. В.И. Ленина, 76, тел. 39-39-64).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Прошу Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся
темой диссертации, принять участие в заседании Ученого Совета
или прислать отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный
печатью.

Ученый секретарь Совета,
кандидат технических наук,
доцент


В.В. Капранов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Перспективным планом развития народного хозяйства СССР намечаются грандиозные объемы строительства, которые предрасполагают рост объемов земляных работ. Ежегодно на капитальное строительство расходуется свыше 100 млрд. рублей, а средние затраты на работы нулевого цикла составляют до 25% общей стоимости строительства.

Значительный объем земляных работ, входящих в состав нулевого цикла в промышленном строительстве, связан с устройством обратных засыпок под полы и фундаменты под технологическое оборудование, качественной засыпкой пазух и траншей под коммуникации, отсыпкой планировочных насыпей. Технология возведения обратных засыпок под полы в промышленном строительстве является одной из наиболее сложных и недостаточно разработанных проблем. Отсутствие широкого фронта из-за стесненных условий при больших объемах значительно усложняет производство работ и приводит к трудностям в создании эффективных

средств комплексной механизации по устройству обратной засыпки в специфических условиях нулевого цикла промышленных объектов. Проектные решения конструкций подземной части сооружений избыточно большим количеством сложных по конфигурации стесненных и труднодоступных мест.

В связи с изложенным, грунтовые обратные засыпки под полы промышленных сооружений либо возводятся без достаточного уплотнения, либо местный грунт заменяется так называемыми "несжимаемыми" материалами (шлак, песок и т.п.). В первом случае это приводит к просадкам полов и сооружений на засыпках, в результате чего задерживается сдача готовых объектов, растут эксплуатационные затраты. Во втором - существенно повышается стоимость строительства, под полами создается среда, обладающая высокими фильтрационными свойствами, неэффективно используется ценное сырье для промышленности строительных материалов.

Решение проблемы устройства качественной обратной засыпки может заключаться в:

- улучшения конструктивных решений подземной части сооружений;

- создании комплекса эффективных механизмов, приспособленных к специфическим условиям нулевого цикла промышленных объектов;
 - поиске новых технологических способов качественной укладки грунта.
- В диссертационной работе рассматривается последний путь решения проблемы.

Целью работы является разработка и исследование технологии укладки местного глинистого элювиального грунта полезных выемок с использованием воды в обратные засыпки под полы промышленных сооружений.

Решение задачи потребовало:

- изучения особенностей массивов насыпных грунтов, к которым относятся грунтовые засыпки;
- анализа способов возведения сооружений из насыпных грунтов и существующих норм плотности;
- изучения способов технической мелиорации грунтов и анализа применимости их к условиям нулевого цикла промышленных объектов;
- изучения элювиальных глинистых грунтов, как материала для обратных засыпок;
- проведения лабораторных исследований водных свойств и сжимаемости нарушенных элювиальных глинистых грунтов с целью определения оптимальных параметров их уплотнения;
- создания математической модели консолидации засыпки, с учетом особенностей технологии возведения и в нелинейной постановке, с целью получения качественной картины и количественных характеристик процесса;
- разработки технологии создания малодеформируемой засыпки из глинистого элювиального грунта;
- проведения натуральных экспериментов по устройству засыпки по предлагаемой технологии;
- технико-экономического обоснования рекомендуемого способа.

Теоретические основы, методология и методика исследования

Методологической и теоретической основой исследования явились труды советских и зарубежных ученых по проблемам технологии земляных работ, способам технической мелиорации насыпных грунтов, грунтоведения и теории консолидации.

При решении поставленных задач использованы методы и приемы статистического анализа, а также методы математического моделирования с применением ЭВМ.

Определенную научную ценность в работе представляет системный подход к проблеме укладки глинистых грунтов в сооружения, потребовавший изучения в совокупности грунта как материала, на который необходимо воздействовать, технология воздействия на грунт и теоретической модели поведения массива грунта в процессе и после его создания.

Научная новизна работы заключается в теоретическом обосновании разработанной автором технологии устройства грунтовых обратных засыпок. Исследованы элевальные глинистые грунты как материал для насыпных сооружений, установлен влажностный режим при принятой технологии укладки грунта. Разработана математическая модель консолидации многослойной засыпки.

Возможности реализации результатов исследований. Предложенная автором технология устройства обратной засыпки из глинистого грунта полезных выемок представляет практический интерес для работников строительных организаций, так как позволяет в стесненных условиях нулевого цикла промышленных объектов создавать малодеформируемые засыпки со значительно меньшими затратами труда и денежных средств. Практическая ценность работы подтверждается внедрением в строительное производство.

Апробация работы. Основные научные результаты исследований были доложены автором на четырех научно-исследовательских конференциях в Челябинском политехническом институте (1967 г., 1971 г., 1973 г., 1974 г.) и научных семинарах Уральского политехнического института (май, 1974 г.) и Ленинградского политехнического института (февраль, 1975 г.).

Публикации. По результатам выполненного исследования опубликовано пять работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Содержит: 126 страниц машинописного текста, 39 рисунков, 28 таблиц. В списке литературы 168 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается существо и актуальность проблемы. Сформулирована цель работы и основные задачи исследований.

В главе I "Свойства насыпных грунтов, классификация и технологические способы воздействия на них" анализируются предпосылки и обосновывается необходимость поиска технологических приемов устройст-

ва малодеформируемых грунтовых обратных засыпок под поля промышленных сооружений. В их числе рассматриваются:

- обусловленность необходимости и возможности технологического воздействия на насыпные грунты с целью ускорения сроков стабилизации массива;

- применимость различных способов технической мелiorации грунтов к условиям нулевого цикла промышленных объектов;

- применимость использования в условиях промышленного строительства основных принципов способа отсыпки глинистого грунта в воду для получения малодеформируемой грунтовой обратной засыпки.

Материалом для обратных засыпок служат насыпные грунты, относящиеся к классу так называемых искусственных грунтов. Насыпной грунт является отличным от природного материалом, свойства которого определяются его генезисом, вещественным составом и способом разработки. Свойства насыпи зависят как от качеств олагающих ее грунтов, так и от способа создания, аналогично тому, как в природе генезис грунта обуславливает его особенности (элювий, аллювий, делювий и т.д.).

Массивы технологически необработанных насыпных грунтов обладают специфическими свойствами: изменчивостью прочностных и деформативных показателей, обусловленной неоднородностью состава (слоения), возрастом и способом отсыпки, повышенной сжимаемостью, способностью давать осадки во времени под действием собственного веса. Большая длительность самоуплотнения насыпных грунтов входит в противоречие с требованиями к современному строительству и должна быть осуществлено сокращена путем применения соответствующих способов воздействия. Способы воздействия на насыпные грунты могут быть классифицированы в зависимости от вида земляных сооружений. В диссертации дана группировка насыпей по условиям работы и предъявляемым к ним требованиям. К первой группе можно отнести сооружения автодорожного строительства, где требования к земляному полотну очень высоки. Ко второй группе принадлежат сооружения гидротехнического строительства, требования к деформативности которых могут быть несколько ниже благодаря форме и специфике их работы. К третьей группе можно отнести обратные засыпки, планируемые территории, занимающие промежуточное место между первой и второй группами. В зависимости от принадлежности земляных сооружений к указанным группам, могут различаться и способы технологического воздействия на грунты. Анализ способов технологического воздействия на насыпные грунты показал, что их целе-

особенно разделить на следующие виды: методы послойного механизированного уплотнения, методы физико-химического воздействия, глубинное уплотнение песчаными и грунтовыми сваями, замена нарушенного грунта "несжимаемыми" материалами, отсыпка глинистого грунта в воду. В стесненных условиях промышленного строительства методы механизированного послойного уплотнения, физико-химического воздействия, уплотнение песчаными и грунтовыми сваями, при устройстве обратных засыпок, в силу ряда причин, широкого применения не находят. В региональных условиях Южного Урала, характеризующихся наличием крупного металлургического производства, помимо использования природных крупнозернистых материалов, получил распространение способ замены местного глинистого грунта в обратных засыпках доменными и мартеновскими шлаками. В связи с пуском в строй заводов по переработке огненно-жидких доменных шлаков, они полностью утилизируются. Основным источником для засыпки служат ранее накопленные отвалы мартеновских шлаков, которые обладают способностью самораспадаться во времени. Их применение в качестве обратной засыпки не исключает просадки полов, удорожает строительство, создает под полами сооружений агрессивную среду, ведет к нерациональному использованию ценного сырья для промышленности строительных материалов.

Способ отсыпки грунта в воду, применяющийся в гидротехническом строительстве, основан на том, что увеличение влажности укладываемого грунта приводит, для достижения требуемой плотности, к уменьшению необходимой уплотняющей работы. Это позволяет создавать качественные насыпи, в которых главным фактором становится механическое и физико-химическое воздействие воды. При этом из процесса возведения исключаются грунтоуплотняющие механизмы, что создает предпосылки для использования основных принципов способа отсыпки в воду при разработке технологии укладки глинистого грунта в стесненных условиях строительного производства.

В главе II "Элювиальные глинистые грунты как материал для насыпных сооружений" изучены особенности свойств региональных глинистых грунтов естественного и нарушенного сложения, водные свойства, уплотняемость и деформативность последних при различном влажностном режиме и статических нагрузках.

Данные литературы свидетельствуют, что качества насыпного массива зависят от свойств нарушенного грунта, послужившего материалом для его создания, а свойства последнего, в свою очередь, определяют

ся состоянием грунта естественного сложения. Отсюда последовала необходимость рассматривать глинистые элювиальные грунты как естественного, так и нарушенного сложения. В диссертации проведено сопоставление свойств элювиальных глинистых грунтов естественного сложения с общими свойствами глинистых переложенных грунтов и определено их своеобразие. Так, если в переложенном глинистом грунте первичные внутренние связи имеют водно-коллоидное происхождение, то в элювиальном первичными являются кристаллические связи материнской породы, а водно-коллоидные являются вторичными. Если в процессе накопления осадочных пород происходит постепенная цементация отдельных частиц солями или коллоидами, то в элювиальном, наоборот, материнская порода постепенно утрачивает прочность кристаллических связей. С увеличением влажности прочность переложенного грунта, как правило, снижается, а сжимаемость возрастает. Для ненарушенного элювия с увеличением влажности сжимаемость не обязательно возрастает, также не всегда имеется прямая закономерность уменьшения прочности при повышении влажности. Глинистые переложенные грунты практически водонепроницаемы или слабопроницаемы, глинистые элювиальные грунты имеют большую водопроницаемость. При механизированной разработке не происходит полного разрушения (перематия) структурных связей, в крупных кусках и агрегатах грунт сохраняет свойства ненарушенного. В связи с поставленной задачей исследовались водные свойства (размокаемость, образование однородной структуры в присутствии воды и др.), влажностный режим при уплотнении, деформативность нарушенного грунта. Лабораторные исследования показали, что элювиальный глинистый грунт нарушенной структуры обладает значительной водоудерживающей способностью, является быстро размокающим с образованием однородной структуры грунтом, при этом имеется прямая положительная зависимость времени размокания от начальной влажности. Нарушенный грунт приобретает большую уплотняемость при воздействии на него воды. Данные литературы свидетельствуют, что для переложенных нарушенных глинистых грунтов при уплотнении их большими статическими ($> 10 \text{ кг/см}^2$) и динамическими нагрузками существует предел плотности, по достижении которого с увеличением влажности плотность уменьшается. Выполненные автором исследования статического уплотнения нарушенного глинистого элювиального грунта в диапазоне нагрузок $1-3 \text{ кг/см}^2$ показала, что при этом также существует предел плотности, но достигается он при более высокой начальной влажности, соот-

ветствующей переходу грунта в двухфазное состояние (рис.1). Деформативность находится также в зависимости от начальной влажности, причем имеются два характерных значения влажности, соответствующие наибольшей и наименьшей деформативности (рис.2). Максимальный модуль деформации соответствует незначительной начальной влажности (W_1), редко встречающейся на практике. Из рассмотрения правой восходящей ветви зависимости видно, что с увеличением влажности деформативность уменьшается. Сложный характер зависимостей плотности и деформативности от влажности объясняется взаимодействием фаз грунта.

Анализ результатов выполненных лабораторных исследований позволил установить пригодность элювиального глинистого грунта в качестве материала для обратной засыпки, укладываемой с использованием воды. При реальных статических нагрузках на обратные засыпки повышение влажности до перехода грунта в двухфазное состояние способствует, в конечном итоге, увеличению уплотняемости и снижению деформативности. В главе III "Консолидация водонасыщенного грунта при послойной отсыпке" установлена применимость теории фильтрационной консолидации к расчету послойно возводимых обратных засыпок, введены предпосылки, позволяющие свести задачу к одномерной, выведены дифференциальные и конечно-разностные уравнения консолидации, разработаны алгоритм и программа расчета на ЭВМ, позволяющие установить величину осадки, протекание ее во времени, влияние послойности возведения на процесс уплотнения массива уложенного грунта.

Основные предпосылки и допущения расчета следующие:

1. Засыпки занимают большие площади при относительно небольшой толщине, нагрузка от транспорта заменяется равномерно распределенной нагрузкой q по всей поверхности слоя, что позволяет свести задачу к одномерной.

2. После замачивания грунта коэффициент водонасыщения приближается к единице, т.е. грунтовую систему можно рассматривать как двухфазную. Оставшийся воздух не рассматривается как отдельная фаза, а влияние сжимаемости этого воздуха учтено в модуле сжимаемости поровой жидкости (в сторону уменьшения). Таким образом, трехфазная система сводится к двухфазной.

3. Слои грунта отсыпается на всю толщину достаточно быстро, что дает возможность определять начальные условия задачи при "мгновенном" загрузении.

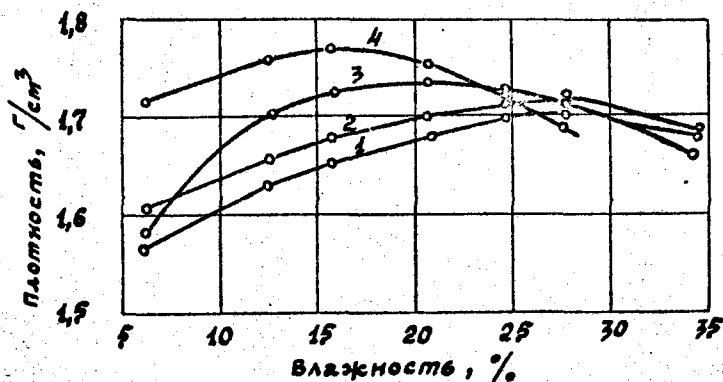


Рис. 1. Зависимость $\gamma_{ск} = \gamma(W)$ при нагрузках:
 1 - 2 кг/см²; 2 - 4 кг/см²; 3 - 6 кг/см²;
 4 - 8 кг/см²

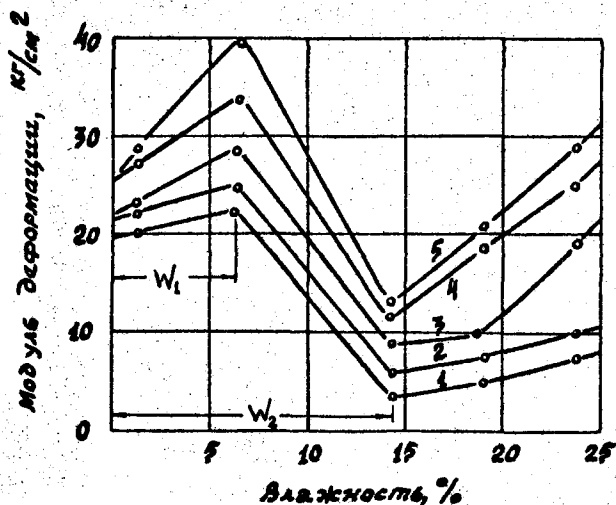


Рис. 2. Зависимость $E = E(W)$ при нагрузках:
 1 - 1 кг/см²; 2 - 2 кг/см²; 3 - 3 кг/см²;
 4 - 4 кг/см²; 5 - 5 кг/см²

4. Зависимости между коэффициентом пористости ϵ , коэффициентом фильтрации K и напряжениями в скелете грунта σ принимаются нелинейными.

5. Нижняя граница принимается непроницаемой, т.к. грунт основания в равнении с грунтом засыпки имеет значительно меньший коэффициент фильтрации.

6. Частицы скелета грунта можно считать практически несжимаемыми; уплотнение грунта происходит только за счет фильтрации, сжатия воды и более плотной укладки его твердых частиц.

7. Поревая жидкость линейно сжимаема.

Полученное дифференциальное уравнение консолидации слоя водонасыщенного грунта имеет вид:

$$\frac{1}{1+\epsilon} \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \sigma} - \frac{\epsilon}{\alpha_w} \right) \frac{\partial p}{\partial t} + K \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \left(\frac{\partial K}{\partial z} + \frac{2K\gamma_w}{\alpha_w} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \gamma_w \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{K}{\alpha_w} \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)^2 - \frac{1}{1+\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial \sigma} \frac{\partial Q}{\partial t} = 0, \quad (I)$$

где ϵ - коэффициент пористости;
 K - коэффициент фильтрации;
 γ_w - удельный вес воды;
 α_w - модуль сжимаемости воды;
 z - ордината точки;

$Q = q + \int_A^z \gamma_w \partial z$ - тотальные напряжения в точке;

p - поревная давления; γ_w - объемный вес грунта.

При определении начальных условий автором предлагается несколько иная интерпретация предпосылки о "мгновенном" нагружении, позволяющая считать, что нагрузка прикладывается в течение произвольного конечного отрезка времени $\frac{\partial z}{\partial t} \neq \infty$, но для сохранения неизменности водосодержания в любом элементарном объеме необходимо принимать $K_i = 0$ и, следовательно, $\frac{\partial K_i}{\partial z} = 0$. Подобный подход дает возможность получить поревные давления в начальный момент в точке на границе слоев непосредственно из уравнения

консолидации. Обычный подход, когда рассматривается гидростатическое напряженно-деформируемое состояние элемента грунтовой системы здесь затруднен, поскольку рассматриваемая среда послойно неоднородна. Граничные условия: на верхней границе очередного отсыпанного слоя давление $P=0$; на нижней непроницаемой первого слоя (основание) - $\frac{\partial P}{\partial z} = -\gamma_0$. Для точки на границе слоев: равенство средних скоростей фильтрации $U_1 = U_2$; равенство поровых давлений $P_1 = P_2$. Функции $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$ и $K = K(\sigma)$ задаются аналитически или таблично. В первом случае приняты характерные для слабых грунтов зависимости типа $\varepsilon = \varepsilon_n + (\varepsilon_0 - \varepsilon_n)e^{\alpha\sigma}$; $K = K_0 e^{\beta\sigma}$.

Здесь $\varepsilon_n, \varepsilon_0, K_0, \alpha, \beta$ - параметры, определяемые опытным путем.

Во втором случае экспериментальные зависимости $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$ и $K = K(\sigma)$ аппроксимируются кусочно-линейной функцией. Координаты точек перелома $(\varepsilon_i, \sigma_i)$ и (K_i, σ_i) задаются в виде таблицы. Аппроксимация позволяет воспользоваться произвольными экспериментальными зависимостями.

Уравнение консолидации для произвольной точки i в конечно-разностной форме имеет вид

$$C_i P_0 + B_i P_i + A_i P_n + D_i = 0. \quad (2)$$

Здесь $C_i = \Delta t \left[4K_i + 2\Delta z \left(\frac{\partial K_i}{\partial z} + \frac{\partial K_i \gamma_0}{\alpha_0} \right) \right];$

$$B_i = \left[\frac{4\Delta z^2}{1+\varepsilon_i} \left(\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial \sigma} - \frac{\varepsilon_i}{\alpha_0} \right) - \theta \Delta t K_i \right];$$

$$A_i = \Delta t \left[4K_i - 2\Delta z \left(\frac{\partial K_i}{\partial z} + \frac{\partial K_i \gamma_0}{\alpha_0} \right) \right]$$

$$D_i = \frac{4\Delta z^2}{1+\varepsilon_i} \left(\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial \sigma} - \frac{\varepsilon_i}{\alpha_0} \right) \bar{P}_i + \Delta t \left[\gamma_0 4\Delta z^2 \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{K_i}{\alpha_0} (P_0 - P_n)^2 \right] - \frac{4\Delta z^2}{1+\varepsilon_i} \frac{\partial \varepsilon_i}{\partial \sigma} (\alpha_i - \bar{\alpha}_i);$$

Δz и Δt - пространственный и временный шаг соответственно;

P_0 и P_n - поровые давления в верхней и нижней точках, отстоящих от i -той на шаг Δz .

Значения $\bar{P}_i, \bar{\alpha}_i$ относятся к моменту времени $T = t - \Delta t$. Поровые давления в начальный момент времени $P_{i,t=0}$ получаются подстановкой выражений $K_i = 0; \frac{\partial K_i}{\partial z} = 0$ в уравнение консолидации (2):

1. Для произвольной точки

$$P_{i,t=0} = \frac{\left(\frac{\partial \delta_i}{\partial \sigma} - \frac{\delta_i}{\alpha \sigma}\right) \bar{P}_i + \frac{\partial \varepsilon_i}{\partial \sigma} (Q_i - \bar{Q}_i)}{\left(\frac{\partial \varepsilon_i}{\partial \sigma} - \frac{\varepsilon_i}{\alpha \sigma}\right)} \quad (3)$$

2. Для точки на границе слоев

$$P_{i,t=0} = \frac{\left[\frac{4\Delta Z^2}{1+\varepsilon_i} \left(\frac{\partial \delta_i}{\partial \sigma} - \frac{\delta_i}{\alpha \sigma}\right)\right] \bar{P}_i + F \left[\frac{4\Delta Z^2}{1+\varepsilon_2} \left(\frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \sigma} - \frac{\varepsilon_2}{\alpha \sigma}\right)\right] + \frac{4\Delta Z^2}{1+\varepsilon_1} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \sigma} (Q_1 - \bar{Q}_1) + F \left[\frac{4\Delta Z^2}{1+\varepsilon_2} \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \sigma} (Q_2 - \bar{Q}_2)\right]}{\frac{4\Delta Z^2}{1+\varepsilon_1} \left(\frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \sigma} - \frac{\varepsilon_1}{\alpha \sigma}\right) - F \left[\frac{4\Delta Z^2}{1+\varepsilon_2} \left(\frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \sigma} - \frac{\varepsilon_2}{\alpha \sigma}\right)\right]} \quad (4)$$

где

$$F = \frac{1 - \frac{\Delta Z \gamma_2}{\alpha \sigma}}{1 + \frac{\Delta Z \gamma_2}{\alpha \sigma}}$$

Показано, что полученная в соответствии с предложенной автором интерпретацией предпосылки о "мгновенном" нагружении формула (3) для определения порового давления в момент времени $t = 0$ превращается в формулу, полученную В.А.Флориным при обычном подходе, а в частном случае, когда вода несжимаема, т.е. $\alpha \sigma = \infty$ выражение (3) превращается в традиционное начальное условие $P_{i,t=0} = Q_i$.

Разработанный алгоритм и программа расчета задачи по неявной схеме учитывают последовательность возведения с пригрузкой каждого слоя, возможными технологическими перерывами и консолидацию созданного массива. Получена качественная картина распределения поровых давлений, перемещений, коэффициентов пористости и фильтрации по глубине и во времени и количественные характеристики процесса.

Анализ полученных в результате расчета для четырехслойной напыли данных о распределении поровых давлений в воде (рис.3) позволил установить, что в начальный период в точках на границах слоев поровые давления меньше, чем в середине их, при этом абсолютные значения давлений увеличиваются с глубиной.

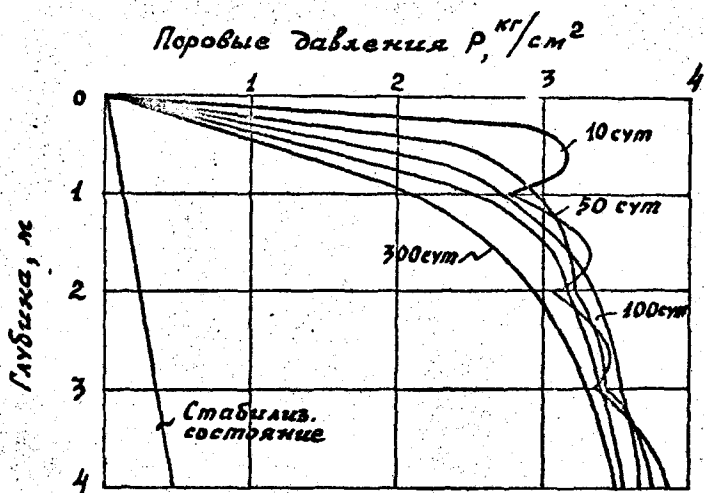


Рис.3. Изменение порового давления p во времени и по глубине

С течением времени наблюдается выравнивание (перераспределение) поровых давлений по глубине и общее уменьшение его во всех точках. Характерные очертания кривых в начале консолидации засыпки объясняются образованием грунта повышенной плотности ("корки") на поверхности очередного отсыпанного слоя. Это связано с быстрой консолидацией его под действием нагрузки от движущегося транспорта. С течением времени массив грунта приобретает однородное строение, плотность его увеличивается и уплотненная "корка" на границах слоев постепенно "исчезает".

Как показал проведенный автором анализ, полученная качественная картина консолидации многослойной засыпки в основном совпадает с описанием реальных процессов, протекающих в насыпях, созданных способом отсыпки глинистого грунта в воду.

В главе IV "Натурные исследования технологии устройства обратной засыпки из элювиальных глинистых грунтов с использованием воды" разрабатывается и исследуется предлагаемая технология послойной укладки глинистого элювиального грунта в обратные засыпки с применением принципов отсыпки грунта в воду. Этот способ в чистом виде не может

быть применен в промышленном строительстве, так как условия производства работ значительно отличаются от условий гидротехнического строительства. С учетом изложенного на базе исследований, освещенных в предыдущих главах, автором разработана технология послойной отсыпки грунта с замачиванием, где, наряду с уплотняющим воздействием транспортных и разравнивающих механизмов, фактором уплотнения является механическое и физико-химическое воздействие воды.

Предложенная технология заключается в отсыпке грунта из полезных емкостей автосамосвалами с разравниванием бульдозером до получения слоя толщиной 1 м и заливке поверхности каждого слоя водой в количестве, определяемом по разработанной номограмме. Технология опробована в производственных условиях, где была осуществлена опытная четырехслойная засыпка элювиальным грунтом. Во избежание промачивания основания нижний слой отсыпался насухо. Контроль качества осуществлялся путем взятия проб на плотность и влажность из шурфов и скважин, а наблюдения за осадками велись с помощью глубинных марок и поверхностных реперов. Несмотря на некоторое различие в условиях проведения экспериментов, результаты их оказались сопоставимыми. Статистическая обработка данных по плотности (объемному весу скелета грунта, г/см^3) показала, что распределение плотности в массиве через 30 дней после отсыпки характеризуется законом нормального распределения, а характеристикой плотности является математическое ожидание, равное $1,44 \text{ г/см}^3$. Обеспеченность по плотности ($\gamma_{\text{ск}} = 1,4 \text{ г/см}^3$ и выше) составляет 80%.

Распределение плотности, влажности по глубине характеризуется однородностью (рис.4). Наблюдения за осадками слоев во время возведения и после него показали, что основная часть осадки (80%) приходится на период укладки грунта с замачиванием и пригрузкой движущимся транспортом.

Анализ результатов натурных экспериментов показал, что:

- достигнута значительная плотность грунта, близкая к нормативной (коэффициент стандартного уплотнения нормативный 0,9, фактический - 0,89);
- получено ускорение стабилизации грунтового массива до 1-3 мес;
- достигнуто однородное монолитное строение земляного тела.

К достоинствам предложенной технологии нужно отнести:

- значительное упрощение технологии работ;
- исключение из процесса грунтоуплотняющих механизмов;

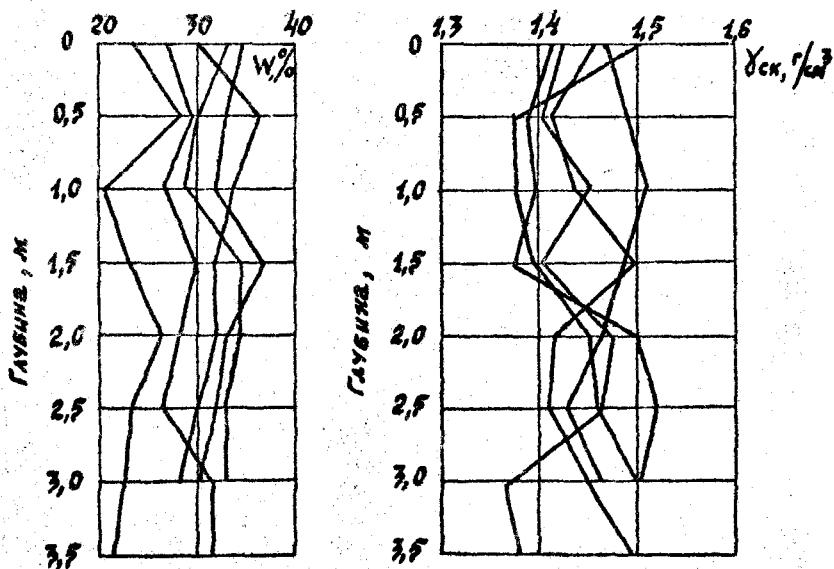


Рис.4. Зависимости плотности, влажности от глубины

- использование грунта полезных выемок, в связи с чем отпадает необходимость специального применения разрабатываемых, погрузочных средств и автотранспорта для подачи шлага и песка в засыпку;
- понижение стоимости обратной засыпки по сравнению с распространенной песчаной и шлаковой.

Практическое применение способа было осуществлено на основании составленной автором технологической карты на производство обратной засыпки на промышленном объекте, являющимся типичным для металлургических цехов по насыщенности конструкциями и коммуникациями подземной части. Полы, уложенные на выполненной по предложенной технологии обратной засыпке, за два года, прошедших со времени пуска цеха, дали осадку в среднем 2 см, при этом нарушения их целостности не обнаружено.

Экономическая эффективность способа послойной отонки с замачиванием определялась в сравнении с применяемой шлаковой засыпкой. Экономический эффект подсчитывался в соответствии с "Инструкцией по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве" и подтвержден соответствующими документами.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В практике строительства грунтовые обратные засыпки в стесненных условиях нулевого цикла промышленных объектов, в силу ряда причин, не всегда качественно уплотняются, а в региональных условиях Урала, как правило, заменяются "несжимаемыми" материалами (шлаком, песком и т.п.), что ведет к удорожанию строительства и нерациональному использованию сырья для промышленности строительных материалов.

2. Обратные засыпки относятся к массивам насыпных грунтов, основными свойствами которых до технологической обработки являются неоднородность сложения, сжимаемость под действием собственного веса и длительность процесса самоуплотнения.

3. Анализ способов воздействия на насыпные грунты с целью ускорения процесса самоуплотнения показал, что значительную плотность грунта можно получить, используя основные принципы способа отсыпки его в воду. При этом из процесса возведения исключаются грунтоуплотняющие механизмы, что создает предпосылки для использования его в стесненных условиях промышленного строительства.

4. Элювиальные глинистые грунты обладают рядом существенных особенностей, резко отличающих их от грунтов, имеющих другой гене-

эти, а именно: повышенной структурной прочностью, высокой пористостью, малой водостойкостью, значительной гидрофильностью.

5. Исследования водных свойств и сжимаемости нарушенного элювиального глинистого грунта позволяют охарактеризовать его как быстро размокающий, уплотняющийся в присутствии воды с приобретением однородной структуры, грунт. Это делает его пригодным материалом для обратной засыпки, уложенной с использованием воды.

6. При статическом уплотнении глинистого элювиального нарушенного грунта нагрузками 1-8 кг/см² с увеличением влажности уплотняемость грунта растет до определенного предела, соответствующего переходу грунта в двухфазное состояние, а деформативность уменьшается.

7. В процессе отсыпки с использованием воды грунт приобретает свойства водонасыщенного, что позволяет для расчета и прогнозирования поведения обратных засыпок применить теорию фильтрационной консолидации.

8. Разработанная с учетом особенностей технологии в нелинейной постановке математическая модель процесса консолидации многослойной засыпки позволяет получить качественную картину и количественные характеристики процесса, приближающиеся к реальным.

9. Предложенная технология устройства обратных засыпок из местного глинистого грунта учитывает особенности производства работ в промышленном строительстве.

10. Обратная засыпка глинистого грунта по предложенной технологии позволяет достичь значительной плотности грунта ($K_v=0,89$) с приобретением однородного монолитного сложения массива и с сокращением сроков его стабилизации до 1-3 месяцев.

11. Внедрение послойной отсыпки глинистого грунта с замачиванием только на одном цехе при объеме работ 15200 м³ дало экономический эффект свыше 20 тысяч рублей.

12. Предлагаемая технология может быть использована также для создания планировочных насыпей и отвалов из глинистых грунтов. Укладка грунта слоями толщиной 1-2 м с замачиванием и учет последующего уплотнения земляного тела под действием собственного веса позволит упростить технологию и значительно снизит затраты по возведению подобных сооружений.

По материалам диссертации опубликованы следующие статьи:

1. Исследование уплотняемости обратных засыпок из грунтов сапролитов. - В сб. "Исследования по бетону и железобетону", вып. 46,

Челябинск, 1967. (Соавтор Сюндюков Г.М.).

2. Исследование сжимаемости сапролитов нарушенной структуры при переменной влажности. - В сб. "Исследования по бетону и железобетону", вып.73, Челябинск, ЧПИ, 1969. (Соавтор Сюндюков Г.М.).

3. Полевые исследования формирования свойств засыпки из элювиальных грунтов. - В сб. "Исследования по строительной механике и механике грунтов", вып.113, Челябинск, ЧПИ, 1973. (Соавтор Сюндюков Г.М.).

4. К вопросу исследования сжимаемости нарушенных элювиальных грунтов различной начальной влажности. - В сб. "Исследования по строительной механике и механике грунтов", вып.113, Челябинск, ЧПИ, 1973.

5. Консолидация водонасыщенного грунта при послейной отсыпке. - В сб. "Исследования по бетону и железобетону", вып.149, Челябинск, ЧПИ, 1974. (Соавтор Гейнц А.А.).