

В18

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

ВАРИНИЧЕНКО
Гарри Михайлович

б.д.ч. 134.23

**УКРЕПЛЕНИЕ
ЛЁССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ
ОСНОВАНИЙ ПЕРЕГРЕТЫМ ПАРОМ**

Специальность 05.23.02
Основания, фундаменты и подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1974

**НТБ
ДНУЖТ**

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

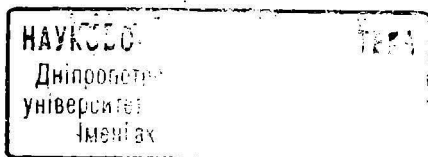
ВАРИНИЧЕНКО
Гарри Михайлович

УКРЕПЛЕНИЕ
ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ
ОСНОВАНИЙ ПЕРЕГРЕТЫМ ПАРОМ

Специальность 05.23.02
Основания, фундаменты и подземные сооружения

6888a

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



ДНЕПРОПЕТРОВСК
1974

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории механики грунтов Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Доктор технических наук, профессор М. Н. ГОЛЬДШТЕЙН.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук, Е. А. СОРОЧАН,

кандидат технических наук С. А. СЛЮСАРЕНКО.

Ведущее предприятие: Научно-исследовательский институт строительного производства Госстроя УССР (Днепропетровский филиал).

Автореферат разослан «10» *сентября* 1974 г.

Защита диссертации состоится «10» *сентября* 1974 г. на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: г. Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2, Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта, ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета, доцент Л. Н. ЛЕБЕДИНЕЦ.

НТБ
ДНУЖТ

ВВЕДЕНИЕ

Главной отличительной особенностью лессовых просадочных грунтов, распространенных на значительной территории СССР, является резкое снижение прочности структурных связей при увлажнении, сопровождающееся доуплотнением под нагрузкой (просадкой). Просадочные деформации могут достигать весьма значительных размеров и, протекая, как правило, неравномерно, зачастую приводят к катастрофическим последствиям для зданий и сооружений.

Благодаря усилиям советских ученых к настоящему времени достигнуты большие успехи в деле изучения специфических свойств лессовых грунтов и методов строительства на них объектов различного назначения. Однако, если для грунтов с небольшой мощностью просадочного слоя арсенал различных технических средств и приемов рационального фундирования достаточно велик, то для просадочных грунтов большой мощности (свыше 12—15 м) этот вопрос продолжает оставаться весьма сложным и требующим дальнейшей разработки.

Пока для подобных условий имеется всего два наиболее широко известных и достаточно апробированных способа: прорезка просадочного слоя свайными фундаментами и предварительное замачивание. Устройство свайных фундаментов в лессовых грунтах большой мощности является, как правило, весьма дорогостоящим мероприятием и в ряде случаев сопряжено с серьезными затруднениями технического порядка. Способ искусственного замачивания, при всей своей простоте и невысокой стоимости, имеет ряд существенных недостатков (длительность замачивания, сложность, а порой и невозможность его использования в застроенных районах, а также зимой), которые в большей степени ограничивают возможность его применения.

Настоящая работа посвящена разработке основных вопросов технической мелиорации лессовых просадочных грунтов путем их пропаривания, позволяющего не только устранить основные недостатки способа замачивания, но и в значительной мере повысить водоустойчивость и несущую способность грунта, после ликвидации его просадочности.

Первый вопрос о целесообразности применения водяного пара для упрочнения макропористых грунтов был поставлен профессором А. А. Щелоковым еще в 1951 году. Однако этот вопрос рассматривался им в существенно ином плане и не вышел за рамки лабораторных испытаний четырех монолитов в условиях замкнутого пространства (рис. 1) путем нагнетания в него пара с давлением 2—6 атм (температура пара А. А. Щелоковым не сообщается).

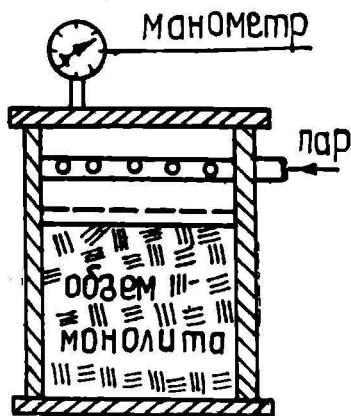


Рис. 1. Схема опытной установки проф. А. А. Щелокова.

Отмечая весьма высокое и равномерное проникновение пара в грунт по сравнению с другими веществами, А. А. Щелоков показал на примере указанных опытов, что в результате пропаривания была полностью ликвидирована макропористая структура и грунт значительно доуплотнился.

Анализируя эти опыты, не трудно видеть, что сама их постановка и условия проведения не моделирует процессов в натуре в связи с поставленной задачей. Более того, полученные результаты ни с чем не сопоставляются (к примеру, хотя бы с замачиванием под гидродинамическим давлением в аналогичных условиях испытаний), что крайне затрудняет возможность их объективной оценки. Предложенную А. А. Щелоковым технологию практического использования способа путем нагнетания пара с поверхности под специальными колпаками (по аналогии с разогревом мерзлых грунтов) тоже вряд ли можно считать приемлемой. Такой прием, очевидно, связан с большими дополнительными затратами и техническими трудностями, обусловленными необходимостью устройства специальных анкерных свай и других мер для

погашения противодействия (которое может достигать весьма больших размеров) под колпаками и предупреждения возможности выхода из-под них пара в результате просадки основания. Кроме этого, при большой мощности просадочного слоя этот способ по существу мало бы отличался от способа замачивания со всеми присущими ему недостатками (исключая возможность его использования зимой). Вероятно, поэтому, в таком варианте способ пропаривания не нашел дальнейшего продолжения и практического применения, хотя и является известным вот уже более двух десятилетий.

В процессе неоднократно проведенных автором наблюдений за характером деформирования различных объектов при аварийных прорывах коммуникаций горячего водоснабжения и, в особенности, паропроводов, было замечено, что просадка фундаментов в этих случаях проявляется значительно более интенсивно в отличие от подобного рода деформаций, вызываемых обычным замачиванием (утечки воды из водопровода или канализации). При этом, фактически измеренные величины просадок зданий, как правило, оказывались существенно выше прогнозируемых расчетом для полного промачивания всей просадочной толщи. Анализ этих наблюдений с учетом отличительных особенностей пара и предполагаемым характером его воздействия на лессовые грунты привели автора к мысли о целесообразности разработки нового способа технической мелиорации лессовых просадочных оснований. Сущность этого способа заключается в провоцировании просадки с целью ее ликвидации и улучшения других свойств лессового грунта при обработке его перегретым паром. Подача пара в грунт должна осуществляться через перфорированные трубы-инъекторы, размещаемые соответствующим образом в плане и по глубине грунтовой толщи. Данный способ может рассматриваться в трех вариантах его практического использования. В первом варианте, при предварительной подготовке основания, устраняется просадочность в глубинных слоях грунта (от действия его собственного веса) с одновременным уплотнением верхних слоев трамбованием (или другими методами, после проявления просадки от собственного веса). Во втором — при совместном воздействии пропаривания, бытового и внешнего давления в процессе возведения здания или сооружения — устраняется просадочность по всей глубине основания. Третий вариант — выравнивание неравномерных просадок и кранов существующих объектов. При необходи-

мости, после ликвидации просадочности, грунт может быть упрочнен в процессе его дальнейшей тепловой обработки в среде перегретого пара.

Изучение механизма и сущности явлений, протекающих в лессовом грунте при обработке его перегретым паром с выявлением отличительных особенностей этого процесса и основных расчетных зависимостей, необходимых для практического применения данного способа, и является предметом настоящих исследований.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений (акты опытной проверки способа в полевых и натуральных условиях). Список использованной литературы включает 130 работ отечественных и зарубежных авторов.

Глава 1. Особенности лессовых грунтов как объекта технической мелиорации и существующие способы борьбы с просадочностью

В этой главе на основе изученных закономерностей и уже сложившихся представлений рассматриваются лессовые грунты (состав, строение и условия их образования), причины их просадочности и роль влияния различных факторов на характер и величину ее проявления. Дается краткий обзор широко известных противопросадочных мероприятий, отмечаются их достоинства и недостатки, а также область практического использования. Несколько подробнее рассмотрен способ искусственного замачивания для подготовки оснований и выравнивания кренов зданий и сооружений, а также способ термического закрепления лессовых грунтов как наиболее близкие к разрабатываемому в настоящей работе способу пропаривания. На основе проведенного анализа показана актуальность проблемы в целом и необходимость совершенствования старых, а также разработки новых способов борьбы с просадочностью.

Глава II. Теоретические предпосылки пропаривания лессовых грунтов как способа технической мелиорации

Как уже можно считать установленным, просадка грунта протекает лишь по мере продвижения свободной влаги в его порах, причем, тем интенсивнее и полнее, чем выше скорость

этого движения. Исходя из положительного влияния скорости движения влаги на просадку А. А. Григорян, например, предлагает осуществлять предварительное замачивание под гидродинамическим давлением. В опытах Е. Б. Фонсова показано, что благодаря увеличению скорости продвижения фронта замачивания при глубинном вакуумировании просадочность лессового грунта возрастает до полутора раз. На скорость движения влаги в грунте, как известно, влияет и ее температура (за счет снижения вязкости). Однако, наряду с ростом скорости движения влаги за счет увеличения ее температуры, последний фактор играет положительную роль и в процессе растворения некоторых солей, например (сульфаты и хлориды), являющихся составной частью цементационных связей лессового грунта и присутствующих в нем в виде отдельных расплывенных включений. Указанные факторы в совокупности могут оказывать существенное влияние на рост просадки и интенсивность ее реализации. Это явление подтверждается результатами наших предварительных (до пропаривания) испытаний образцов лессового грунта при различной температуре замачивания, а также лабораторными опытами Р. И. Годжаевой, которая объясняет это явление лишь интенсивностью растворения солей, не учитывая при этом фактор увеличения скорости движения влаги (Бакинский политехнический институт). В основе механизма протекающих в грунте процессов при обработке его перегретым паром лежат особенности их взаимодействия с учетом характера перехода последнего в различные состояния при его охлаждении и нагревании. Если рассматривать процесс пропаривания в элементарном объеме лессового грунта, то в начальный период в связи с большой разностью температур взаимодействующих сред, перегретый пар начнет сразу же конденсироваться, превращаясь в воду, температура которой со временем будет повышаться. Затем, по мере дальнейшего прогревания грунта от постоянно действующего источника перегретого пара, поры грунта заполняются влажным паром (совокупность сухого насыщенного и кипящей влаги) и, наконец, перегретым, параметры которого будут стремиться максимально приблизиться к состоянию пара в источнике (рис. 2). При увлажнении грунта конденсатом уже начнут проявляться просадочные деформации, которые будут протекать по аналогии с замачиванием горячей водой в зависимости от гидродинамического давления и температуры. Фактор скорости движения конденсата здесь

будет определяться градиентами давления и температуры, а также работой расширения пара, фазовыми превращениями и термодиффузией. Очевидно, роль этого фактора в данном случае будет уже более высокой, чем при замачивании даже горячей водой.

Однако, наиболее существенные изменения в структуре грунта следует ожидать при воздействии на него влажного

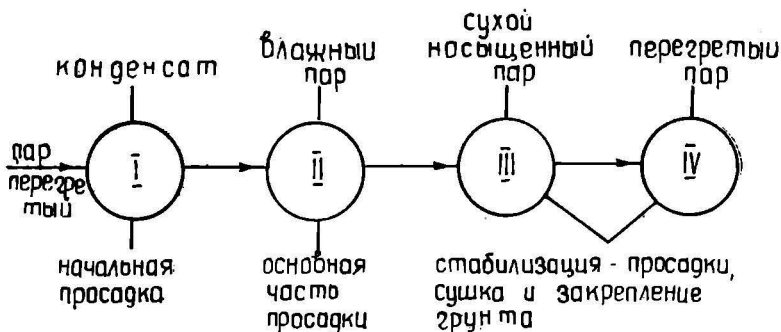


Рис. 2. Основные этапы взаимодействия нагнетаемого пара с грунтом.

пара. Наличие при этом в парах грунта сухого насыщенного пара и кипящей влаги будет способствовать еще более интенсивному (по сравнению с влиянием конденсата) разрушению структурных связей, диспергации агрегатов и частиц грунта и их наиболее компактной доупаковке под нагрузкой. В этой стадии (стадия влажного пара) просадка должна практически полностью реализоваться и к моменту перехода влажного пара в перегретый, влияние последнего приведет к интенсивной сушке и упрочнению уже доуплотненного (просевшего) грунта.

Таким образом в одном цикле пропаривания должны как бы последовательно совместиться два приема — устранение просадочности грунта в стадии конденсации и влажного пара, а также его послепросадочное упрочнение в среде перегретого пара.

Пространственно-временные изменения основных переменных параметров пара (плотность и температура) и грунта (температура и влажность) при его пропаривании могут быть определены на основе изучения тепло- и массообменных процессов. Если рассматривать пропаривание в массиве грун-

та по истечении какого-то времени с момента подачи перегретого пара в иньектор, то вокруг него можно выделить несколько квазиоднородных зон с условными границами, перемещающимися в пространстве и во времени (рис. 3). Скорость

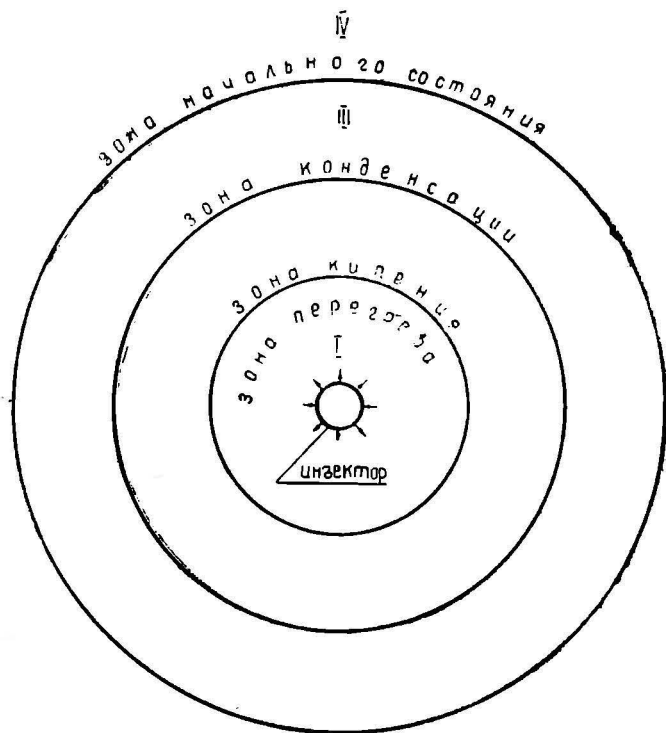


Рис. 3.

Характер распределения квазиоднородных зон вокруг иньектора при длительном воздействии перегретого пара.

протекания отдельных составляющих процесса тепло- и массообмена в разных зонах, а также и между ними различна и зависит от целого ряда взаимосвязанных параметров (табл. 1). На основе законов сохранения и законов переноса энергии и вещества А. В. Лыковым и Ю. А. Михайловым получена система дифференциальных уравнений молярно-молекулярного тепло- и массопереноса, которая является матема-

Таблица 1

Влияющие факторы	Основные переменные параметры			
	температура пара	плотность пара	температура грунта	влажность грунта
Конвективный перенос тепла паром	+	—	+	—
Теплопроводность пара	+	—	—	—
Работа расширения пара	+	+	—	—
Термодиффузия пара	—	+	—	—
Фазовые превращения	+	+	+	+
Диффузионный перенос влаги	—	—	—	+
Конвективный теплообмен влагой	—	—	+	—
Кондуктивный теплообмен в грунте	—	—	+	—

тической моделью переносных процессов, протекающих при тепловой обработке влажных тел (включая коллоидно-дисперсные капиллярно-пористые материалы) в среде перегретого пара. Система этих уравнений имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa_{11} \nabla^2 T + \kappa_{12} \nabla^2 \Theta + \kappa_{13} \nabla^2 P, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \kappa_{21} \nabla^2 T + \kappa_{22} \nabla^2 \Theta + \kappa_{23} \nabla^2 P, \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \kappa_{31} \nabla^2 T + \kappa_{32} \nabla^2 \Theta + \kappa_{33} \nabla^2 P, \quad (3)$$

где: T — температура тела (грунта);

Θ — потенциал переноса или изотермический химический потенциал;

P — давление пара;

κ_{ij} — коэффициенты, выражающиеся через физические параметры тела, воды и пара.

В общем виде эти уравнения могут быть использованы для описания тепло- и массообменных процессов в лессовых грунтах при их пропаривании. Однако, определение коэффициентов « κ_{ij} » связано с рядом серьезных затруднений, обусловленных необходимостью в достаточно сложном теплофизическом оборудовании и большой затрате времени на проведение этих исследований. Более того, как отмечает Ю. А. Михайлов,

в настоящее время нет еще законченной теории, описывающей всю совокупность влияющих факторов, а также полной ясности в оценке роли отдельных факторов на массообмен. Все это затрудняет пока получение корректного математического описания этих процессов. В связи с этим вопросы тепло- и массообмена при обработке влажных тел в среде перегретого пара, вообще, и лессовых грунтов, в частности, требуют дальнейшего, более глубокого и всестороннего изучения, что выходит за пределы настоящей работы.

В трудах отечественных и зарубежных ученых, занимающихся вопросами обработки материалов в среде горячего воздуха и перегретого пара, отмечаются весьма существенные изменения водных, прочностных и других свойств этих материалов в результате теплового воздействия. Так, И. М. Литвинов указывает, что даже при низкотемпературном прогреве лессовые грунты теряют значительную часть гидратной химически связанной воды, вызывая при этом ликвидацию просадочности, набухания и улучшение других показателей их строительных свойств.

Результаты обширных исследований, посвященных тепловой обработке влажных материалов (в частности, коллоидных, капиллярно-пористых) при сушке их перегретым паром показывают, что структурно-механические и физико-химические свойства этих материалов резко улучшаются. При этом, в частности, резко повышается их прочность и водостойкость. Улучшение указанных свойств является, в конечном счете, следствием происходящих изменений в микроструктуре, в дисперсном составе и в соотношении различных видов энергетических связей влаги с твердой фазой материала (по П. А. Ребиндеру). На примере тепловой обработки торфа перегретым паром показано, что диспергированию подвергается более 53% сухого вещества ($T=200^{\circ}\text{C}$), что выше показателей механической переработки; увеличение удельной поверхности идет в среднем в 1,3, а рост массы высокодисперсных фракций — в 1,7 раза интенсивнее, чем при механической переработке. За счет энергии расширяющегося пара достигается дробление и размол даже твердых материалов таких, например, как каменного угля.

В результате обработки торфа перегретым паром высушенные образцы не изменяют своей формы и не проявляют никаких признаков разрушения после длительного пребывания в воде. Ю. А. Михайлов отмечает, что водопоглощательная спо-

способность термообработанного материала перегретым паром резко снижается и не возвращается к первоначальной величине.

Термообработка материалов в среде перегретого пара заграживает все виды связей, включая химически связанную влагу, выделяя ее в виде пирогенетической воды, что приводит к практически полному обезвоживанию этих материалов и значительному увеличению их механической прочности. Ссылаясь на данные П. А. Ребиндера, Н. Н. Маслов отмечает, что бентонитовые глины с большим содержанием монтмориллонита при обезвоживании способны оказывать сопротивление раздавливанию до 400 кг/см^2 .

Рассматривая вопросы сушки влажных тел, А. В. Лыков и Ю. А. Михайлов отмечают, что процессы тепловой обработки и изменение свойств материалов в среде перегретого пара протекают намного интенсивнее при более высокой экономичности этих процессов по сравнению с тепловой обработкой горячим воздухом при той же температуре. Повышение коэффициента использования энергии в среде перегретого пара обусловлено снижением необратимых потерь при теплообмене за счет, главным образом, их снижения при диффузии ввиду смещения двух одинаковых по природе веществ, а также снижения гидравлического сопротивления и потерь с утечкой агента тепловой обработки. Значения коэффициентов тепло- и массообмена здесь более высокие, чем при тепловой обработке горячим воздухом.

Таким образом, исходя из вышеизложенных предпосылок, следует ожидать, что при обработке лессовых просадочных грунтов перегретым паром, наряду с устранением их просадочности, можно добиться весьма существенного улучшения их прочностных и водных свойств.

Глава III. Лабораторные исследования

Исследования по изучению влияния различных факторов на изменение просадочности и других свойств лессовых грунтов при пропаривании проводились на специально разработанной автором установке, принципиальная схема которой показана на рис. 4.

Опыты на просадочность производились с образцами грунта ненарушенной структуры диаметром 145 мм и высотой 50 мм по методу одной кривой при давлении 3 кг/см^2 .

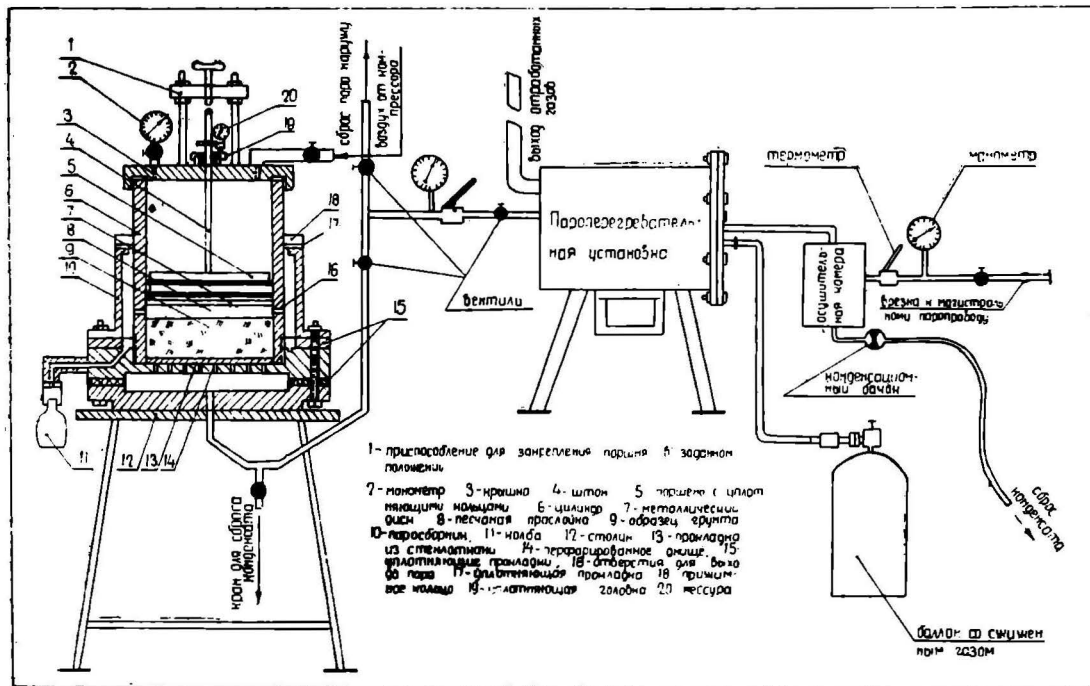


Рис. 4. Схема лабораторной установки по пропариванию грунта.

На рис. 5 показан характер деформирования грунта во времени при обработке его перегретым паром ($P=1,5$ атм; $T=120^{\circ}\text{C}$). Представленная на этом рисунке зависимость позволила выделить три основные стадии, связанные с процессом качественного изменения состояния пара и количественными соотношениями просадочных деформаций в образце грунта за время пропаривания. Результаты этих исследований убедительно

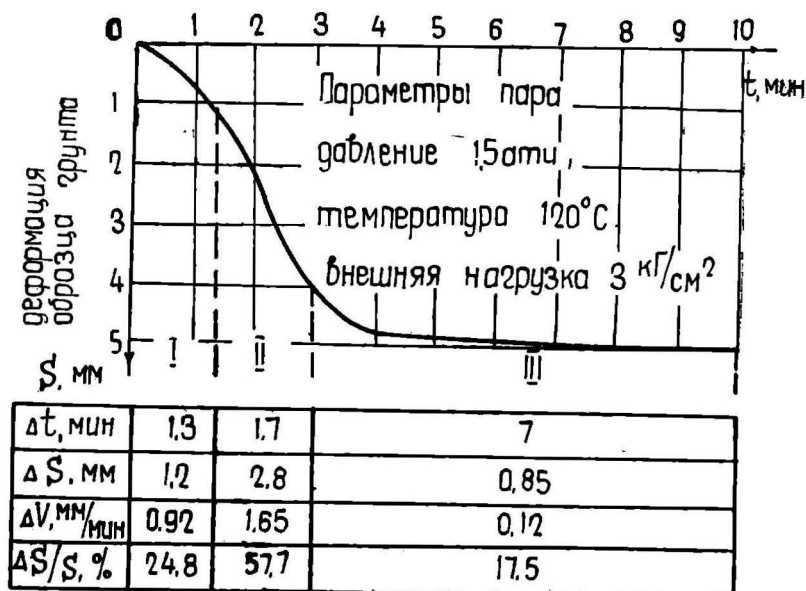


Рис. 5. Характер протекания во времени деформаций грунта при обработке его перегретым паром.

тально подтвердили (эта зависимость получена на основе результатов обработки около 20 опытов при указанных параметрах пара) изложенные выше теоретические предпосылки рис. 2) относительно механизма протекающих в грунте процессов при обработке его перегретым паром. При других параметрах пара общий характер приведенной зависимости сохраняется (меняются лишь конечные показатели просадки и скорости ее протекания в целом, а также в пределах каждой из выделенных стадий).

Для изучения влияния параметров пара (при прочих равных условиях) было проведено около 100 опытов при темпе-

ратуре и давлении перегретого пара соответственно в пределах 120—280°С и 1,0—2,0 атм, результаты обработки которых показаны на рис. 6.

Параллельно с этим определялась и относительная просадочность образцов грунта (из тех же самых монолитов) при

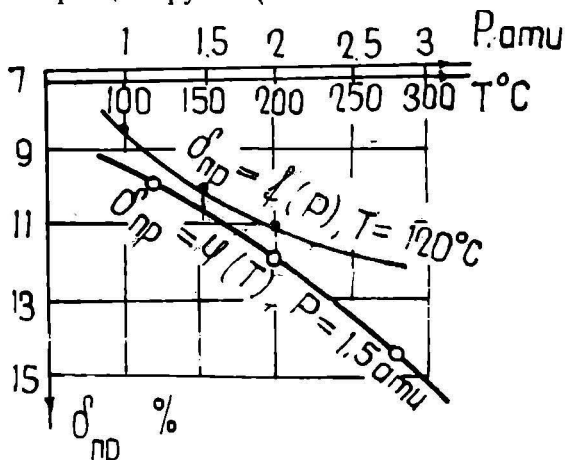


Рис. 6. Кривые изменения просадочности при изотермическом и изобарическом процессах пропаривания.

обычном замачивании в компрессионных приборах (несколько контрольных испытаний с замачиванием в установке по пропариванию показали те же результаты). На основе сопоставления результатов пропаривания и замачивания получена эмпирическая зависимость, позволяющая количественно оценить во сколько раз величина просадочности грунта при его пропаривании (с учетом параметров пара) выше, чем при обычном замачивании. Эта зависимость аналитически выражается формулой:

$$k = 2,12 \cdot 10^{-2} (-0,6P^2 + 4,5P + 4,3) (5 \cdot 10^{-5}T^2 + 8,5 \cdot 10^{-3}T + 8), \quad (4)$$

где P и T соответственно давление (атм) и температура (°С) пара. Графически эта зависимость приведена на рис. 7. Для изучения влияния других факторов на величину просадочности при пропаривании были проведены специальные опыты на образцах лессового грунта ненарушенной структуры с различными показателями начальной влажности и плотности (рис. 8), а также в различных условиях загрузки

образцов грунта, обладающих одинаковыми начальными свойствами (рис. 9). Опыты по изучению влияния величины и характера приложения нагрузки (рис. 9) подразделялись на три серии. В каждой серии, после предварительного пропаривания

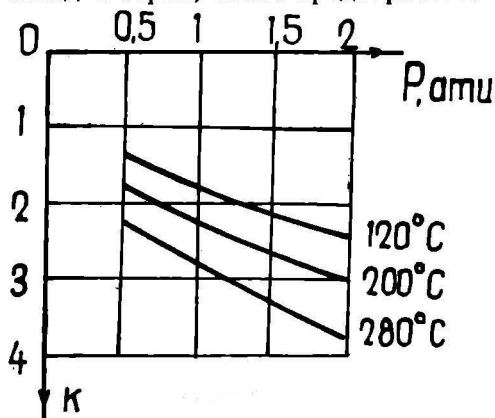


Рис. 7. Изменение коэффициента «к» в зависимости от параметров пара.

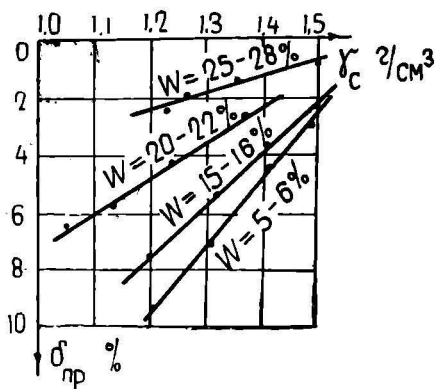


Рис. 8. Изменение просадочности грунта от его начальной влажности и плотности.

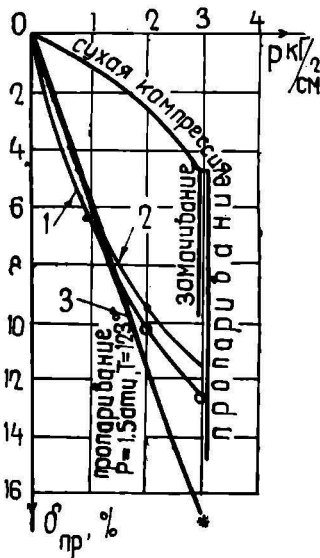
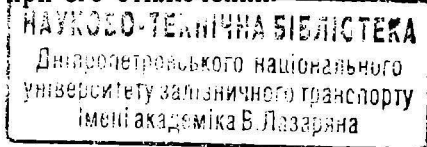


Рис. 9. Влияние величины и характера приложения нагрузки на просадочность грунта.

вания грунта без нагрузки, производилось загрузке образца ступенями с соответствующей выдержкой до наступления условной стабилизации деформаций при каждой ступени загрузки (действие пара при этом не прекращалось). В первой серии приложение нагрузки осуществлялось ступенями 1; 2; 3 кг/см², во второй — 2 и 3 кг/см², а в третьей серии сразу прикладывалось 3 кг/см². На этом же рисунке приведены соответствующие зависимости при пропаривании и обычном замачивании, полученные при испытаниях под нагрузкой 3 кг/см² по методу одной кривой. Как следует из этих графиков, наибольший эффект просадочного доуплотнения достигается при одноразовом приложении полной нагрузки после предварительного пропаривания, а не при ступенчатом загрузке. Тот же эффект (хотя в несколько меньшей мере) наблюдается после подачи пара в образец грунта, предварительно обжатый полной нагрузкой. Это обстоятельство, видимо, следует учитывать при практическом использовании того или иного варианта способа пропаривания.

Таким образом, общий характер воздействия рассмотренных факторов (начальные свойства грунта и его напряженное состояние) на просадку при замачивании и пропаривании по существу одинаков. Рост же просадочности при пропаривании обусловлен влиянием температуры и давления пара, что, в свою очередь, позволяет вызвать просадку грунта, находящегося в таких условиях загрузки и влажности, при которых простое замачивание, как правило, не приводит к желаемому результату. Величина начального давления при пропаривании всегда ниже, чем при замачивании и меняется в зависимости от параметров пара. Все это представляется практически важным, в особенности, для выравнивания кренов существующих объектов, когда грунты в основании (в большинстве случаев) доувлажнены, а нагрузки, в результате перераспределения напряжений под фундаментами при кренах, оказываются, зачастую, чрезвычайно малыми. Кроме этого, опытами выявлена еще одна важная особенность способа пропаривания, связанная с возможностью легкого управления просадочными процессами. Испытания образцов грунта с попеременной подачей и отключением пара показали, что подавляющая часть просадки (84—97%) приходится на период непосредственного воздействия на грунт пара и совсем незначительная — ~~при его отключении~~.

2.



17

НТБ
ДНУЖТ

68889

Исследования показали, что величину возможной просадки при пропаривании можно прогнозировать на основе результатов общепринятых компрессионных испытаний с замачиванием того же грунта по формуле.

$$S_{\text{пр.}} = \sum_{i=1}^n k_{\text{пр.}}^{\delta_{\text{зам.}}} H_i m, \quad (5)$$

где: k — коэффициент, определяемой по формуле (4); остальные обозначения приняты, как и в известной формуле с простым замачиванием.

Это позволит значительно упростить лабораторные испытания с целью прогноза возможных величин просадок грунта при его пропаривании.

Приведенной формулой (5) можно пользоваться для приближенных расчетов и применительно к другим разновидностям лессовых грунтов, так как между ними, по существу, нет принципиальной разницы (исключением, возможно, могут быть сильно засоленные грунты). При этом, если учесть рекомендуемые нормами значения коэффициента условия работы « m », принимаемые равными 1 или 2 в пределах активной зоны в зависимости от ширины фундаментов (т. е., например, при $b=1,95$ м, $m=2$, а при $b=2,1$ м уже $m=1$), то возможное влияние специфики свойств лессовых грунтов других регионов вряд ли может иметь более существенное значение при определении прогнозируемой просадки, чем возможная неточность принимаемого показателя коэффициента условия работы.

Параллельно с исследованием влияния температуры и давления пара на просадочность грунта изучалось и изменение его свойств после завершения просадочных деформаций. Для сопоставления определялись и соответствующие характеристики свойств лессовых грунтов (из тех же монолитов ненарушенной структуры) после их обычного замачивания при тех же самых нагрузках. Анализ полученных при этом результатов показал, что наряду с полным устранением просадочности, пропаривание приводит к заметному улучшению и других свойств грунта, выгодно отличающихся от свойств замоченного грунта, а также его природного состояния. Так, если при замачивании в условиях стабилизированной деформации мы и добиваемся некоторого доуплотнения грунта с устранением его просадочности (в соответствии с существую-

щими воззрениями на просадку от замачивания), то ряд других его показателей (например, влажность и прочностные характеристики) заметно ухудшаются, что в условиях современного высотного строительства при больших размерах активной зоны под фундаментами может стать причиной длительных осадок. В зависимости от температуры и давления перегретого пара, а также времени его воздействия свойства обрабатываемого грунта меняются по разному. Если взять, к примеру, значения C и ϕ для грунта естественного сложения, после его замачивания в условиях компрессионного сжатия под нагрузкой 3 кг/см^2 и после пропаривания под той же нагрузкой, то сцепление с $0,6 \text{ кг/см}^2$ снизилось после замачивания до $0,38 \text{ кг/см}^2$, а после пропаривания возросло до $1,1 \text{ кг/см}^2$. Угол внутреннего трения при этом практически не менялся. Однако, здесь следует заметить, что изменение указанных свойств грунта при пропаривании происходило за период 10—15 минут (время поступления условной стабилизации просадки, зависящее, в основном, от параметров пара), когда грунт еще практически не переходил в стадию послепросадочной сушки и упрочнения в среде перегретого пара. Дополнительные опыты показали, что в результате после просадочной обработки грунта в течение одного часа при температуре пара 250°C и давлении $1,5 \text{ атм}$ сцепление грунта достигло $4,65 \text{ кг/см}^2$, а угол внутреннего трения 54° . Последующее длительное замачивание этого грунта, хотя и приводит к заметному снижению его прочности, тем не менее она остается близкой к своему природному состоянию.

Приведенные результаты еще далеко не исчерпывают возможности теплового воздействия на грунт перегретого пара, температура которого может быть значительно более высокой (наша установка предусматривала перегрев пара не свыше 300°C). Поэтому эти вопросы должны быть исследованы в будущем более глубоко и всесторонне. Однако, уже сейчас можно утверждать о возможности резкого увеличения несущей способности термообработанного грунта в среде перегретого пара, что позволит заметно повысить нагрузки на основание, снизив при этом расход дефицитных материалов и удешевить строительство в целом.

Как показали наши опыты, величина расхода пара для полного проявления просадки зависит от его параметров (чем они выше, тем меньше расход пара). Однако корреляция между этими показателями весьма затруднительна, так как

на расход пара, помимо его параметров, существенное влияние будут оказывать свойства обрабатываемого грунта, его напряженное состояние и ряд других факторов. Хотя, как уже выше показано, механизм протекания просадочных процессов при пропаривании и отличен от обычного замачивания, тем не менее величину расхода пара удобно рассматривать, исходя из степени влажности, при которой практически полностью реализуется просадка грунта. В наших опытах эта величина в среднем составляла 0,6 (средний показатель по результатам всех опытов на просадочность). При этом величина конечной влажности, соответствующая такой степени заполнения пор конденсатом, определяется по формуле:

$$W_k = \frac{0,6 \epsilon_n \gamma_v}{\gamma_y} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где: ϵ_n — начальный коэффициент пористости грунта (до пропаривания);

γ_v — удельный вес сконденсированной влаги, приближенно принимаемый равным 1 т/м³;

γ_y — удельный вес грунта в т/м³.

Тогда необходимое количество пара для устранения просадки грунта найдем из следующей зависимости:

$$Q = (W_k - W_n) \gamma_{ск} \cdot 0,01 V_{гр.}, \quad (7)$$

где: W_k — по формуле (6);

W_n — средняя величина начальной влажности грунта, в %;

$\gamma_{ск}$ — среднее значение плотности грунта, после просадки, принимаемое равным $\sim 1,6$ т/м³ (по результатам выполненным нами опытов);

$V_{гр.}$ — объем обрабатываемого грунта в м³.

В реальных условиях, помимо отмеченных выше факторов, расход пара будет еще зависеть и от конструкции инжекторов, глубины их погружения и взаимного расположения, а также от особенностей строения грунтовой толщи, гидрологических условий и т. п. Поэтому величина этого показателя, как и ряда других, должна уточняться в каждом конкретном случае опытным пропариванием. При этом фактический расход пара может определяться как посредством прямых измерений с помощью расходомеров (дифференциальных манометров), так и косвенным путем по формуле.

$$\dot{Q} = 0,9\pi d^2 \omega \cdot \frac{1}{\gamma} t, \quad (8)$$

где: \dot{Q} — общий расход пара в т;
 d — диаметр паропровода на участке между источником пара и инжектором в м;
 t — время пропаривания в часах;
 ω — скорость движения пара на этом участке в м/сек, равная.

$$\omega = \sqrt{\frac{Hd \cdot 2q^*}{l\lambda}}, \quad (9)$$

где: H — разность показаний манометров на входе (у источника пара) и в инжекторе в кг/см²; $q^* = 9,81$ м/сек²;
 γ — удельный объем пара в м³/кг;
 l — длина рассматриваемого участка паропровода, в м;
 λ — коэффициент трения в паропроводе.

Для изучения скорости распространения пара в лёссовом грунте в условиях одномерного пространства было проведено несколько серий специальных опытов на образцах грунта ненарушенной структуры различной высоты при разных сочетаниях температуры и давления пара. ($P = 1,0 - 2,0$ атм; $T = 120 - 280^\circ \text{C}$). На основе результатов обработки более 75 опытов получена зависимость, связывающая время прохождения пара с длиной пути его движения. Эта зависимость имеет вид:

$$t = 5,51 \sqrt{L^3} \eta_p \eta_T, \quad (10)$$

где: t — время в сек;
 L — длина пути в см;
 η_p и η_T — коэффициенты, учитывающие соответственно влияние давления и температуры пара.

$$\eta_p = (1 - 53,8 \cdot 10^{-2}P + 81 \cdot 10^{-3}P^2), \quad (11)$$

$$\eta_T = (1 - 72,8 \cdot 10^{-5}T - 30,5 \cdot 10^{-7}T^2). \quad (12)$$

Учитывая, что зависимость (10) получена для условий одномерного пространства, в натуре она будет заведомо иной, так как в условиях трехмерного пространства рассматриваемые процессы будут протекать медленнее. Поэтому в дальнейшем этот вопрос должен быть исследован специально.

На данном же этапе зависимость (10) может быть использована лишь для весьма приближенных расчетов, связанных с назначением шага размещения инъекторов (их общего количества) с учетом сроков проведения работ.

Глава IV. Полевые и натурные исследования

Проверка способа в полевых условиях осуществлялась путем пропаривания грунта в основании нагруженного штампа. Характеристика грунтов площадки представлена в таблице 2.

Таблица 2

№№ слоев	Описание грунтов	Мощность слоя в м	Объемный вес в т/м ³	Влажность в %	Плотность в т/м ³	Пористость в %	Относительная просадочность при $\sigma = 3 \text{ кг/см}^2$
I	Лессовидный суглинок, макропористый, темно-бурый	2,2	1,53	15,90	1,32	50,3	3,3
II	Лесс макропористый с пятнами и прожилками карбонатов	8,5	1,68	15,5	1,46	45,5	2,6
III	Суглинок лессовидный, макропористый, буровато-желтый	2,5	1,69	20,4	1,41	45,1	2,1

Штамп представлял собой жесткую конструкцию квадратного сечения с размерами сторон в уровне подошвы $70,7 \times 70,7$ см (площадь $0,5 \text{ м}^2$). Загрузка штампа производилась железобетонными плитами весом 1720—1840 кг каждая с таким расчетом, чтобы общий вес штампа составил 10 т (давление в уровне подошвы 2 кг/см^2). После двухнедельной выдержки в условиях естественной влажности и стабилизации осадки был подан перегретый пар в четыре инъектора диаметром 80 мм, расположенных с четырех сторон штампа (по симметричной схеме) на расстоянии около 40 см от его наружных граней. Глубина погружения инъекторов — 1,4 м. Инъекторы направленного действия с перфорацией, выполненной на половине поперечного сечения в виде круглых отверстий диаметром 5 мм через 5 см в шахматном порядке на участке 1,2 м

длины инжектора, расположенной ниже уровня подошвы штампа. Заостренные наконечники инжекторов перфорации не имели. Пароподводящая система была оснащена соответствующей контрольно-измерительной аппаратурой.

Пропаривание грунта, после соответствующего редуцирования пара в подводящей системе, осуществлялось при давлении 0,8 атм и температуре 250° С. Через полтора часа после начала пропаривания при общем расходе пара около 0,3 т на 1 м² пропариваемой площади просадочные деформации грунта прекратились и общая величина их составила 81,2 мм (средняя по результатам геодезических измерений с четырех сторон штампа).

При этом, как следовало из самих условий постановки эксперимента, просадка штампа произошла лишь за счет уплотнения грунта в пределах его активной зоны. Ход просадки во времени показан на рис. 10.

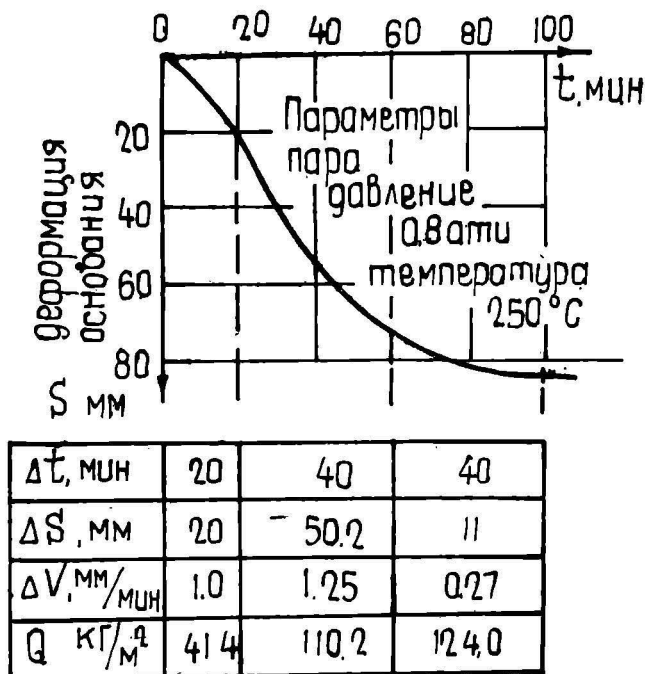


Рис. 10. График просадки штампа при пропаривании грунта в его основании.

Несколько ранее, в тех же грунтовых условиях была выполнена работа по замачиванию грунта в основании того же штампа (с той же нагрузкой) в котловане, расположенном на расстоянии порядка 20 м от места опытных работ с пропариванием. Замачиванию подвергался весь котлован размерами 25×25 м, уровень воды в котором поддерживался постоянным и составлял в среднем около 40 см. Для ускорения процесса замачивания просадочной толщи была оборудована система дренажных скважин диаметром 30 см и глубиной 12 м каждая, расположенных в шахматном порядке по всей площади дна котлована с шагом 5 м.

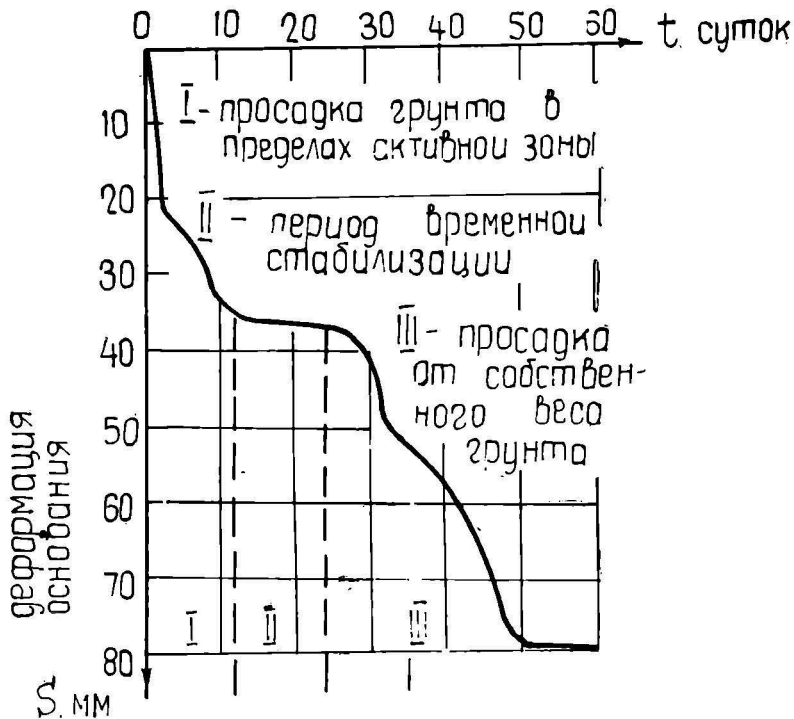
Через пятьдесят суток непрерывного замачивания при общем расходе воды 30,4 м³ на 1 м² площади котлована общая величина просадки штампа за счет уплотнения грунта в пределах активной зоны и зоны просадок от его собственного веса достигла всего 79 мм (рис. 11).

Зонный характер деформирования грунта в основании штампа при замачивании достаточно четко прослеживается на приведенном графике. Подтверждением тому служат и результаты просадок поверхностных марок, оборудованных по всей площади дна котлована. Начало их перемещений во времени совпало с началом III периода (рис. 12), а также совпали и размеры этих просадок. Таким образом просадка грунта за счет его доуплотнения в активной зоне закончилась за первые 12 суток замачивания при расходе воды 6,4 м³ на 1 м² площади. При этом величина ее составила 36 мм.

Анализ приведенных графиков (рис. 10, 11) позволил количественно сопоставить значения просадок и скоростей их проявления при пропаривании и замачивании грунта в основании нагруженных штампов. Так, величина просадки штампа при пропаривании оказалась в 2,26 раза больше, чем при замачивании и проявилась соответственно в несколько сот раз быстрее. Соотношение максимальных скоростей просадок в том и другом случаях достигло 600 раз. Приведенный расход пара на 1 м² площади оказался в 20 раз меньшим по сравнению с расходом воды. Если в формулу (4) подставить значения параметров пара $P=0,8$ атм и $T=250^{\circ}\text{C}$ (при которых протекал процесс пропаривания грунта под штампом), то получим величину коэффициента «к», равную 2,12, т. е. прогнозируемая величина просадки в данном случае должна была быть в 2,12 раза большей по сравнению с результатами замачивания. В действительности эта величина оказалась равной

(как показано выше) 2,26, что указывает на весьма удовлетворительную сходимость этих показателей.

Расход пара в данном случае, рассчитанный по формуле (7), оказался в действительности завышенным примерно на 30%. Такое расхождение связано, прежде всего, со значительными утечками пара в атмосферу, так как паклевые



Δt мин	17280	17280	37440
ΔS мм	36	0	+3
ΔV мм/мин	0,00208	0	0,012
Q м ³ /м ²	6,4	4,25	19,75

Рис. 11. График просадки штампа при замачивании всей просадочной толщи в его основании.

уплотнители, предусмотренные по периметру инжекторов на небольшом участке ниже их устья, не обеспечили должной герметизации затрубного пространства, образовавшегося в результате воздействия пара на окружающий грунт. Кроме того, начало перфорации инжекторов располагалось близко от поверхности дна котлована (около 25 см).

В целях избежания таких потерь следует применять инжекторы конической формы (как, например, при силикатизации), а начало их перфорации от поверхности грунта располагать на расстоянии, приблизительно равном половине шага размещения инжекторов. Это позволит, с одной стороны, уплотнить грунт вокруг инжекторов выше перфорированного звена, обеспечив при этом более надежные условия герметизации, и с другой стороны—избежать преждевременного проникновения пара к поверхности грунта, т. е. раньше, чем будет сформирована зона пропаривания между соседними инжекторами.

Внедрение рассматриваемого способа было осуществлено в опытном порядке на промплощадке одного из заводов г. Днепропетровска при выравнивании крена осветительной вышки и упрочнения грунта в ее основании. Конструкция вышки представляет собой жесткую пространственную систему с горизонтальными и диагональными связями (соединения сварные). Высота ее надфундаментной части — 21 м. Вышка смонтирована на двух фундаментах из монолитного железобетона глубиной заложения — 3,5 м от уровня планировочной поверхности. Размеры фундаментов в плане на уровне подошвы — 1,65×2,80 м с передаваемым давлением на грунт 0,8 кг/см². Фундаменты возведены на толще лёссовидных суглинков и лёссов мощностью порядка 10 м, подстилаемой слоем плотных краснобурых суглинков (водоупорный слой). Природные свойства грунтов основания в пределах указанной мощности характеризуются следующими показателями:

$$W = \frac{10,1 - 20,6}{14,2} \circ \quad \gamma_{ск} = \frac{1,42 - 1,56}{1,45} \text{ г/см}^3$$

$$W_p = \frac{19 - 24,6}{20,3} \circ; \quad W_r = \frac{28,5 - 32,1}{29,4} \circ; \quad W_n = \frac{5,4 - 12,8}{9,1} \circ;$$

$$C = \frac{0,5 - 0,68}{0,57} \text{ кг/см}^2; \quad \varphi = \frac{36^\circ - 42^\circ}{38^\circ};$$

(в числителе показаны пределы изменения свойств, в знаменателе — средневзвешенные значения для удобства общего сопоставления после пропаривания). Величина относительной просадочности грунта при фактических нагрузках (сумма бытового и избыточного) в пределах всего просадочного слоя не превышала 0,064—0,475%. При этом возможная просадка от замачивания по расчету составляла всего 27 мм.

Интерес к проведению данной работы был вызван не столько производственной необходимостью (состояние вышки не представляло опасности, исключая чисто эстетическую сторону вопроса), сколько проверкой в натуре возможности провоцирования просадок и их управляемости в условиях, когда при обычном замачивании они практически не могут проявиться. Кроме этого, интересовали также вопросы, связанные с расходом пара, развитием зоны его действия и изменением свойств грунта в результате его обработки перегретым паром.

На практике зачастую наблюдаются случаи, когда в результате перераспределения напряжений под подошвой фундаментов при неравномерных деформациях оснований происходит его разгрузка со стороны противоположной крену (так, например, в результате неравномерной осадки башни в г. Пизе напряжения в грунте со стороны крена достигли $9,61 \text{ кг/см}^2$ а с противоположной — всего $0,67 \text{ кг/см}^2$). В таких случаях выправить крены сооружений на лёссовых просадочных грунтах способом обычного замачивания без дополнительной (часто очень большой) пригрузки основания может оказаться весьма затруднительным или просто невозможным. Кроме этого, как уже отмечалось, способ замачивания длителен во времени и не может быть использован на застроенной территории, что, в частности, характерно для рассматриваемого здесь случая, так как вблизи осветительной вышки проходит внутризаводская железнодорожная ветка и рядом расположен один из цехов завода.

Вся работа по пропариванию грунта в основании вышки подразделялась на два основных этапа: I этап — выравнивание крена вышки и дальнейшая ее равномерная посадка до стабилизации, II этап — сушка и упрочнение доуплотненного (просевшего) грунта. Первый этап был завершен за шесть суток непрерывного пропаривания грунта при работе одной пары инжекторов, расположенных с противоположной стороны крена на расстоянии около 50 см от наружных граней

фундамента в уровне его подошвы. Инъекторы были изготовлены из труб диаметром 76 мм, длиной 4,7 м каждый с перфорацией на участке 1 м выше острия. Перфорация инъекторов была выполнена в виде системы продольных прорезей (на половине сечения труб для обеспечения направленности действия пара) шириной 5—7 мм и длиной 30 см каждая. Перфорированная часть инъекторов располагалась в пределах одного метра глубины ниже подошвы фундамента. Температура и давление пара в инъекторах соответственно менялись в пределах 175° — 130° С и 0,9—0,1 атм. При этом крен вышки был исправлен уже в первые двое суток пропаривания. В дальнейшем, из-за близости расстояния между фундаментами (всего 10 см в уровне их подошвы) и развитием зоны пропаривания в сторону второго фундамента, началась его просадка, вызвав тем самым вновь проявление некоторого крена. Однако, путем изменения режимов пропаривания (переменный сброс и увеличение давления пара) удалось обеспечить практически равномерный (рис. 12) процесс

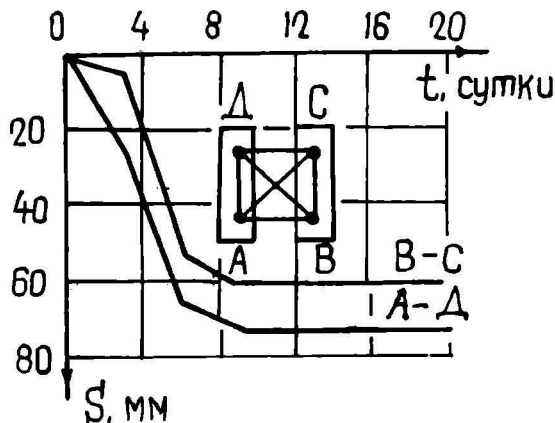


Рис. 12. Изменение просадок фундаментов вышки в период пропаривания основания.

просадок обоих фундаментов при крене вышки 0,7% (вдвое меньшем по сравнению с первоначальным) вплоть до наступления стабилизации просадок. Общая просадка фундамента со стороны крена в среднем (нивелировка производилась по двум крайним точкам фундамента) составила 60 мм (B—C),

à противоположного — 71 мм (А—Д), т. е. в два с лишним раза больше по отношению к расчетной величине просадки для случая простого замачивания и даже несколько выше прогнозируемой для пропаривания с учетом формулы (5) (если принять в среднем значения температуры и давления пара соответственно 150°С и 0,5 атм).

Если учесть, что распределение напряжений от подошвы фундаментов до кровли непросадочных грунтов носило возрастающий характер, а инъекторы были заглублены лишь на 4,5 м (при общей мощности просадочного слоя порядка 14 м), то, видимо, процесс реализации просадки оказался растянутым во времени, значительная часть которого была затрачена на проникновение пара в глубинные слои лессовой толщи. В связи с этим и расход пара оказался завышенным, так как он значительно раньше проник на поверхность грунта, чем достиг кровли непросадочных грунтов. Фактический расход пара при обработке им порядка 2500 м³ грунта составил 380 т вместо около 250 т по расчету. Утечки пара имели место также и в связи с его проникновением в засыпанную ранее траншею для прокладки кабеля, расположенную вблизи фундамента вышки. С учетом этих потерь значения расчетного и фактического расхода пара, по всей вероятности, оказались бы достаточно близкими.

Процесс распространения пара протекал на 15—40% медленнее по сравнению с расчетом по формуле (10), полученной для условий одномерного пространства. Изменение влажности грунта в пространстве и во времени в начальный период пропаривания контролировался методом радиоактивного каротажа (институт геологических наук АН УССР) через систему геофизических скважин глубиной 12 м, расположенных на фиксированных расстояниях в сторону развития зоны пропаривания от инъекторов. Однако, в дальнейшем из-за прогрева грунта до высокой температуры (около 90°С) зондирующее устройство с радиоактивным источником вышло из строя при его очередном опускании в геофизическую скважину. Поэтому последующие измерения были прекращены, а контуры зоны пропаривания были определены бурением, после завершения работ.

После стабилизации просадок пропаривание продолжалось (II этап) еще 15 суток при давлении пара 0,1—0,2 атм и температуре 170°С, после чего было прекращено по производственной необходимости.

Характеристики свойств обработанного грунта в пределах всей мощности просадочного слоя (по монолитам, отобранным вблизи вышки) заметно изменились по сравнению с первоначальными. Так:

$$W = \frac{8,2 - 19,0}{12,8} 0/0; \quad \gamma_{ск} = \frac{1,45 - 1,56}{1,50} \text{ г/см}^3;$$

$$W_p = \frac{21,2 - 25,7}{22,4} 0/0; \quad W_r = \frac{34,2 - 39,3}{37,3} 0/0; \quad W_n = \frac{8,5 - 18,1}{14,9} 0/0;$$

$$C = \frac{0,54 - 1,32}{0,93} \text{ кг/см}^2; \quad \varphi = \frac{35^0 - 49^0}{43^0}.$$

Величина относительной просадочности образцов этого грунта при последующем их длительном замачивании в лаборатории даже при нагрузке 3 кг/см^2 не превышала $0,6\%$ в то время, как для естественного грунта при этой нагрузке она достигала $3,3\%$. При этом, если для естественного грунта время наступления условной стабилизации просадки не превышало 20 часов, то для пропаренного — только начало проявления вышеуказанных деформаций наблюдалось лишь по истечении 54—72 часов с момента замачивания. Стоимость 1 м^3 обработанного грунта с учетом всех затрат (включая стоимость перегретого пара и оснащения площадки) составила 0,8 рубля.

Все это еще раз подтверждает возможность значительного преобразования грунта при обработке его перегретым паром в целях ликвидации просадочности, размокаемости и, в конечном счете, увеличения несущей способности.

Заключение

1. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены особенности свойств лессовых просадочных грунтов как объекта технической мелиорации, дан обзор и анализ существующих способов борьбы с просадочностью. Показана актуальность совершенствования старых и разработки новых способов.

2. На основе известных закономерностей просадки, связанных с ее ростом и интенсификацией под влиянием факторов гидродинамического давления и повышения температуры

воды, изложены соображения в пользу рассматриваемого способа.

3. Раскрыта сущность предлагаемого способа и намечены варианты его практического использования. Рассмотрены теоретические предпосылки, положенные в основу этого способа с учетом особенностей взаимодействия перегретого пара и грунта, а также механизма протекающих при этом процессов.

4. Опытами установлено, что основная часть просадки при пропаривании нагруженного грунта реализуется за счет интенсивного и наиболее полного разрушения его структуры в стадии кипения конденсата при переходе перегретого пара во влажный (совокупность сухого насыщенного и кипящей влаги) после стадии конденсации (начального этапа проявления просадки). При дальнейшей обработке этого грунта интенсифицируется процесс его сушки и закрепления уже в среде перегретого пара. Эффект послепросадочного закрепления грунта определяется значениями параметров пара и временем его воздействия.

5. Получены эмпирические зависимости по определению величины относительной просадочности данного грунта и его паропроницаемости (для одномерной задачи) с учетом параметров пара, а также его потребного количества для устранения просадочности.

Выведено соотношение, позволяющее количественно оценить величину возможной просадки грунта при пропаривании на основе результатов общепринятых компрессионных испытаний с его замачиванием.

6. Показано, что общий характер влияния начальных свойств грунта и его напряженного состояния на просадочность при пропаривании такой же, как и при обычном замачивании. Рост же просадки в первом случае связан лишь с наличием факторов температуры и давления пара, что, в частности, позволяет вызвать просадку в таких условиях загрузки и влажности грунта, при которых простое замачивание не приводит к желаемой цели. При этом также установлена возможность легкого управления просадкой, так как она протекает лишь по мере поступления в грунт пара и практически полностью прекращается после его отключения.

7. Полевые и натурные исследования подтвердили правильность основных теоретических и расчетных предпосылок, а также эффективность способа в целом.

8. В отличие от способа замачивания лёссовых грунтов, являющегося в настоящее время наиболее простым, дешевым и в ряде случаев практически единственным способом борьбы с просадочностью, рассматриваемый способ, кроме отмеченных выше его достоинств, может найти успешное применение в застроенных районах и зимой как при подготовке просадочных оснований, так и при выравнивании кренов существующих объектов.

9. Область применения данного способа практически не ограничивается размерами просадочного слоя. Однако эффективность его использования в каждом конкретном случае должна определяться на основе технико-экономического анализа с учетом результатов предварительной (опытной) проверки в рассматриваемых условиях.

Во второй части заключения изложены общие рекомендации по практическому применению способа пропаривания (с учетом трех намеченных вариантов его использования).

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Вариниченко Г. М. О некоторых результатах исследований нового способа технической мелиорации лёссовых просадочных оснований. Труды ДИИТа, «Геотехника в строительстве», вып. III, Днепропетровск, 1969.

2. Вариниченко Г. М. О влиянии параметров пара и внешнего давления на эффект доуплотнения лёссовых просадочных грунтов при пропаривании. ДИИТ, материалы юбилейной научно-технической конференции института, Днепропетровск, 1970.

3. Вариниченко Г. М. Об устранении просадочности лёссовых грунтов путем их пропаривания. Труды ДИИТа, «Вопросы геотехники», вып. 20, Днепропетровск, 1972.

4. Вариниченко Г. М. Изменение просадочности и прочностных свойств лёссовых грунтов при их пропаривании. Труды ДИИТа, «Вопросы геотехники», вып. 21, Днепропетровск, 1973.

5. Вариниченко Г. М. Устранение просадочности лёссовых грунтов и выравнивание кренов зданий и сооружений способом пропаривания оснований. Труды межвузовской конференции по строительству на лёссовых грунтах, изд-во Московского университета, 1973.

6. Вариниченко Г. М., Вишневский С. А., Терлецкий В. П. Опыт выправления-крема осветительной вышки и упрочнения

ее основания перегретым паром. Труды ДИИТа «Вопросы геотехники», вып, 22, Днепропетровск, 1973.

7. В а р и н и ч е н к о Г. М. Устранение просадочности и упрочнение лёссовых грунтов перегретым паром. Материалы VIII Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов, Киев, 1974 (в печати).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ДОКЛАДЫВАЛИСЬ:

1. На семинарах кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» ДИИТа в 1968, 1970, 1973 гг.

2. На юбилейной научно-технической конференции ДИИТа в 1970 г.

3. На Всесоюзном совещании по экспериментальным исследованиям инженерных сооружений в Новосибирске в 1973 г.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ