

6
А67

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени ПАЛЬМИРО ТОЛЬЯТТИ

На правах рукописи

А. М. НЕМЧИН

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ПРОХОДКИ
ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК
В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДА**

**594—экономика, организация и планирование
народного хозяйства (строительство)**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Ленинград
1971

На правах рукописи

А. М. НЕМЧИН

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ПРОХОДКИ
ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК
В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДА

594—экономика, организация и планирование
народного хозяйства (строительство)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград
1971



624.155
A67

Работа выполнена в Ленинградском инженерно-экономическом институте им. Пальмиро Тольятти (ЛИЭИ).

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор Я. А. Дорман.

Официальные оппоненты:

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор Б. А. Ржаницын,

кандидат экономических наук, доцент Н. Л. Некраш.

Ведущее предприятие — Ленинградский филиал проектного института Метрогипротранс — Ленметропроект.

Автореферат разослан 24 III 1971 г.

Защита диссертации состоится 27 IV 1971 г. на заседании Ученого совета Ленинградского инженерно-экономического института им. Пальмиро Тольятти.

Ленинград, Ф-2, ул. Марата, дом 27, IV этаж, аудитория 88.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета Л. А. Добрынина.

Развитие крупных городов вызывает значительный рост подземного строительства: тоннелей и других выработок метрополитена, автотранспортных и пешеходных тоннелей, коммунальных тоннелей — коллекторов и пр. Сооружение подземных выработок в Ленинграде связано с определенными трудностями. С одной стороны, это — необходимость проходки во многих случаях под плотной городской застройкой, нередко включающей уникальные памятники архитектуры. С другой стороны, это — геологические и гидрогеологические условия проходки, наличие разнородной толщи четвертичных отложений, представленных, как правило, слабыми водонасыщенными грунтами. В этой сложной обстановке существенное значение приобретает подготовка проходческих работ, тот или иной специальный способ воздействия на проходимые породы. Имеются различные специальные способы, гарантирующие проходку выработок путем улучшения свойств грунтов, а именно, повышения несущей способности, устойчивости и снижения водопроницаемости. Вопрос об использовании того или иного специального способа воздействия на ленинградские грунты должен решаться на основе научной методики, позволяющей в зависимости от конкретных условий и с помощью определенных критериев выяснить целесообразность или нецелесообразность применения способа.

К настоящему времени вопрос этот разработан в весьма незначительной степени. Между тем, важность его не подлежит сомнению. Специальные работы являются существенным и дорогостоящим видом подготовки строительства, т. е. элементом его организации, от рационального выполнения которого зависят дальнейший ход строительства, условия и экономические показатели производства работ и эксплуатации сооружений.

Проведение специальных работ с наилучшими экономическими показателями зависит помимо назначения рациональ-

ного специального способа от правильной организации выполнения работ на объекте, которая обеспечивается применением оптимальных схем производства работ на основе передовой технологии и в экономически оправданные сроки.

Одним из самых универсальных специальных способов является искусственное замораживание грунтов, обеспечивающее надежные результаты в самых неблагоприятных геологических условиях и поэтому широко распространенное при строительстве подземных сооружений в Ленинграде. Вместе с тем, способу замораживания присущи недостатки: высокий уровень затрат, наличие осадок поверхности земли над выработками, пройденными с его использованием.

В диссертации рассматриваются задачи совершенствования проектирования организации специальных работ в направлении разработки методов технико-экономической оценки специальных способов проходки выработок и производства работ по искусственному замораживанию грунтов при подземном строительстве с тем, чтобы устранить или уменьшить указанные недостатки этого способа.

Глава I СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ПРОХОДКИ ВЫРАБОТОК И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Большинство специальных способов проходки по существу относится к так называемым способам технической мелиорации грунтов, т. е. улучшения свойств пород различными техническими приемами.

К настоящему времени в нашей стране и за рубежом накоплен большой опыт применения в различных областях строительства самых разных методов, в той или иной степени улучшающих природные свойства грунтов.

Для глубинного воздействия на грунты, необходимого при проходке выработок, возможно использование цементации, глинизации, битумизации, силикатизации, смолизации, электрохимического закрепления, термического воздействия, искусственного замораживания, водопонижения.

В работе рассматривается сущность названных способов, что позволяет оценить область возможного применения каждого из них в зависимости от вида и свойств грунтов.

Вообще, организация строительства подземных сооружений и, в частности, специальные работы зависят от многочисленных и разнообразных факторов: инженерно-геологической обстановки на участке, типа и назначения сооружения,

мощности и оснащенности строительной организации, технико-экономических показателей тех конструктивных, технологических и других решений, которые могут быть применены.

Учет этих факторов для решения практических задач предлагается производить по аналогии с методом последовательных критериев в теории исследования операций. При сопоставлении и выборе способов создания условий для производства проходческих работ должны последовательно учитываться четыре главных фактора (критерия):

1) род геологических условий (виды грунтов, слагающих толщу, мощность и взаимное расположение напластований, влажность и фильтрационные свойства грунтов);

2) тип подземного сооружения (назначение, размеры, положение в пространстве, глубина заложения);

3) показатели экономической эффективности специальных способов;

4) ресурсы строительной организации, выполняющей специальные работы.

В данной главе предлагаются методы учета первых двух названных факторов.

Часть специальных способов обеспечивает постоянное закрепление грунтов (тампонажные, химические), другие приводят к временному улучшению их свойств (замораживание, водопонижение). Первые могут быть использованы во вполне определенных грунтах (химические — в песчаных, тампонажные — в трещиноватых, электрохимические — в глинистых), вторые характеризуются довольно широким диапазоном применения.

Изложенные в главе сведения о специальных способах обобщаются предлагаемой в работе классификацией применительно к проходке подземных выработок, по которой может быть произведен предварительный выбор возможного способа улучшения свойств грунтов в конкретной геологической обстановке.

На основе изучения геологического строения грунтовой толщи на территории Ленинграда и перечня проходимых выработок классификация специальных способов преобразована в таблицу условий применения. Пользуясь этой таблицей, можно достаточно определенно из всего набора способов выделить несколько пригодных для сооружения данного типа выработок в данных грунтовых условиях (без учета экономических показателей) с тем, чтобы в дальнейшем про-

вести экономическое сравнение этих способов и наметить наиболее эффективный.

При этом в таблице не рассматриваются маловероятные практически сочетания грунтовых условий и типов сооружений, например, эскалаторный тоннель в однородных песчаных грунтах.

Условия применения специальных способов

Грунтовые условия	Типы выработок			
	эскалаторные тоннели	стволы	котлованы под вестибюли, подземные переходы	тоннели неглубокого заложения
Песчаные грунты Пески мелкозернистые пылеватые рыхлые насыщенные водой, $K_{\phi} = 0,1 - 5,0 \text{ м/сутки}$	—	—	Искусственное замораживание; водопонижение; водопонижение с вакуумированием; силикатизация; смолизация	
			Электросиликатизация	Кессонная проходка
Глинистые грунты Супеси пылеватые с органикой $K_{\phi} < 0,5 \text{ м/сутки}$; суглинки и глины пылеватые перувлажненные и влажные, $K_{\phi} < 0,01 \text{ м/сутки}$	—	Искусственное замораживание; различные методы водопонижения		
		Кессонная проходка	Электросиликатизация*)	Кессонная проходка
			Электрохимическое закрепление**)	
Разнородные толщи	Искусственное замораживание			
	Водопонижение с вакуумированием и электроосмосом			
		Кессонная проходка	Кессонная проходка	

*) для супесей;

**) для суглинков и глин.

Глава II. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ПРОХОДКИ ВЫРАБОТОК

Настоящая глава посвящена разработке методов учета третьего и четвертого факторов, влияющих на выбор специальных способов (см. выше). Вопрос об экономической оценке специальных способов включает несколько взаимосвязанных задач:

1) сбор, систематизация и анализ проектных и фактических данных о затратах на предмет установления средних показателей специальных способов для определенных условий;

2) разработка методики расчета затрат и сравнения вариантов применения специальных способов, намеченных при учете первых двух вышеуказанных факторов, определяющих выбор способа;

3) учет ограниченных ресурсов строительных организаций при планировании специальных работ;

4) получение количественных характеристик основных специальных способов для наиболее типичных ситуаций на основе упомянутой методики (п. 2);

5) определение целесообразных направлений совершенствования специальных способов.

Применительно к первой задаче в диссертации обобщены материалы по затратам на специальные способы, собранные в проектных и строительных организациях, а также из литературных источников. В силу разнородности и недетальности этих данных полученные примерные показатели характеризуют специальные способы лишь по стоимости работ.

Предлагаемая в работе методика экономического сравнения и выбора специальных способов (другие предложения по постановке и решению рассматриваемой задачи нам неизвестны) исходит из следующих основных принципов:

1. Сопоставляемые варианты должны быть взаимозаменяемыми, т. е. обеспечивать один и тот же производственный результат;

2. Поскольку речь идет о методах производства работ, являющихся предварительным условием для выполнения основных процессов (проходки, возведения конструкций подземного сооружения), то расчет затрат следует производить на уровне строительной организации, вычисляя чистые затраты по специальному способу, либо эти затраты вместе с расходами на проходку выработок; стоимость подземного

сооружения и расхода на его эксплуатацию принимаются одинаковыми независимо от специального способа и при сравнении не рассматриваются;

3. Мерой текущих затрат строительных организаций принимается себестоимость работ, указанных в п. 2; мерой единовременных — стоимость основных фондов, используемых в производстве работ (средний размер оборотных средств считается одинаковым независимо от применяемого специального способа и в сравнение не включается);

4. Помимо перечисленных расходов должны учитываться дополнительные затраты, связанные с ликвидацией вредных последствий применения специального способа (например, осадок при замораживании грунтов) — своеобразные сопряженные затраты;

5. Учитывая разнохарактерность и разновременность перечисленных элементов расходов, необходимо приводить их к одной размерности и к одному моменту времени;

6. Критерием эффективности того или иного варианта является минимум приведенных затрат.

В соответствии с этими принципами разработана следующая формула приведенных затрат:

$$\Pi = \sum_{i=1}^t (C_i + E_n \cdot K_i) \cdot (1 + E_{\text{ин}})^{t-i} + \sum_{j=1}^T \frac{C_j + E_n \cdot K_j}{(1 + E_{\text{ин}})^j}, \quad (1)$$

где Π — приведенные затраты по специальному способу, руб.;

C_i — сметная себестоимость строительно-монтажных работ по специальному способу в i -том году от начала строительства, руб.;

C_j — сметная себестоимость строительно-монтажных работ по ликвидации отрицательных последствий применения специального способа в j -том году от окончания строительства, руб.;

K_i — капиталовложения (стоимость строительных машин и механизмов, перенесенная на работы данного варианта пропорционально их объему) по специальному способу в i -том году, руб.;

K_j — то же, по ликвидации последствий в j -том году, руб.;

E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый в расчетах рав-

ным 0,17 (согласно «Типовой методике определения экономической эффективности капитальных вложений» 1969 года E_n в целом по народному хозяйству установлен не ниже 0,12);

$E_{\text{ин}}$ — норматив для приведения разновременных затрат, равный 0,08;

t — продолжительность строительства сооружений, лет;

T — длительность периода осуществления работ по ликвидации вредных последствий применения специального способа, лет;

i — очередной год строительства ($i=1, 2, \dots, t$);

j — очередной год периода осуществления работ по ликвидации последствий ($j=1, 2, \dots, T$).

С учетом реальных сроков производства работ нами принято: $t=3$ годам, причем специальные способы применяются на первом году строительства, $T=1$ году. При подстановке этих величин, а также значений E_n и $E_{\text{ин}}$ в формулу приведенных затрат она приобретает следующий вид:

$$\Pi = 1,166 (C + 0,17K) + 0,926 \cdot 3,$$

где $3 = C_j + E_n K_j$.

Кроме приведенных затрат по специальным способам показателями вариантов являются трудоемкость и продолжительность работ.

Учитывая, что для одного из самых существенных по значимости и объемам выполняемых работ типов сооружений — тоннелей различного назначения — важным фактором, влияющим на выбор специальных способов, является глубина заложения, в диссертации предлагается предварять сопоставление вариантов специальных работ оценкой эффективности заложения тоннелей на малой и большой глубине. Методика такой оценки составлена нами применительно к тоннелям метрополитена на основе систематизации проектных и фактических данных о капиталовложениях и эксплуатационных затратах по участкам Ленинградского метрополитена.

Капитальные вложения рекомендуется определять по укрупненным показателям с использованием для этой цели имевшихся ранее и специально разработанных нормативов.

Размер эксплуатационных затрат можно вычислить на основе зависимостей, выведенных при анализе фактических расходов по метрополитену за 1955—1969 годы. При этом

оказалось достаточным определять лишь расходы на заработную плату, электроэнергию и амортизационные отчисления по пяти основным службам, затраты которых преобладают в общей сумме расходов на эксплуатацию. К полным эксплуатационным затратам можно перейти с помощью устойчивого в течение всего ряда лет коэффициента 1,4.

Каждую из перечисленных статей затрат в диссертации предлагается определять сравнительно простыми методами на основе технических показателей, получаемых уже на предпроектной стадии (длина проектируемого участка метрополитена, размеры движения, мощность электроустройств и т. п.).

Решение вопроса о глубине заложения тоннелей позволяет перейти к сопоставлению и выбору специальных способов.

Разработанные методические положения реализованы при составлении проектных схем вариантов проходки для наиболее типичных ситуаций. При этом под проектной схемой понимался такой набор технических и технологических решений (расчетов конструкций, определений потребных средств механизации и т. п.), который позволяет достоверно вычислить основные объемы работ и величины затрат по варианту с использованием там, где это возможно, приближенных методов, укрупненных показателей и пр.

В качестве наиболее типичных для Ленинграда случаев рассмотрены варианты проходки шахтного ствола в разнородной толще грунтов, тоннеля мелкого заложения в глинистых грунтах и котлована в песках (в основу расчетов по стволу и котловану положены характеристики реальных объектов и условий).

По всем вариантам разработаны проектные схемы, составлены сметно-финансовые расчеты, определены размеры капиталовложений, трудозатраты, сроки производства работ, вычислены приведенные затраты на 1 п. м. выработок. Анализируя итоги этих расчетов, можно заключить, что для проходки шахтного ствола наиболее рационально использовать искусственное замораживание грунтов. Применение этого способа для проходки тоннеля в глинистых грунтах экономически невыгодно как для закрытого, так и для открытого способа работ. Водопонижение в грунтах, плохо отдающих воду, теоретически возможно, но практически недостаточно разработано и проверено. Поэтому для закрытого способа проходки тоннеля следует рекомендовать кессонную проходку, а для открытого — помимо детальной оценки рассмот-

ренных вариантов необходимо определить целесообразность вскрытия котлована под тоннель с откосами без крепления и со шпунтовым ограждением. Устройство котлована в песчаных грунтах предпочтительнее всего вести с водопонижением, конкурирующими вариантами можно считать замораживание и создание противодиффузионной завесы из силикатизованного грунта. При детальном проектировании и на основе определения дополнительных показателей возможен однозначный выбор способа проходки выработки этого типа.

Разработка проектных схем и расчет затрат по ним, равно как и фактические данные, показывают, что способ искусственного замораживания грунтов является не только универсальным, но и во многих случаях достаточно эффективным. Вместе с тем, и это необходимо подчеркнуть, в некоторых конкретных ситуациях более целесообразным является использование других способов, а не замораживания.

Помимо вопроса о выборе наиболее эффективного для данных условий специального способа возникает также вопрос, может ли строительная организация, выполняющая специальные работы, применить на всех объектах, включенных в ее план, именно те способы, которые являются рациональными, хватит ли у нее для этого соответствующих ресурсов?

Если же ресурсы ограничены (в особенности наиболее существенные из них — трудовые), то необходимо так планировать деятельность строителей, чтобы при минимальных затратах на производство работ они были бы выполнены на всех основных объектах. Иначе говоря, при недостатке трудовых ресурсов по какому-либо специальному способу их надо распределить по тем объектам, где их применение наиболее эффективно.

Для решения этой задачи в диссертации предлагается следующая математическая модель:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij} &= A_i & i(1, 2, 3 \dots) (1) \\ \sum_{l=1}^n t_{lj} \cdot x_{lj} &\leq T_j & j(1, 2, 3 \dots) (2) \\ \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^m p_{lj} \cdot x_{lj} &= \min & (3) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь n — число типов объектов, m — число специальных способов, x_{ij} — объем работ по j -тому способу на i -ом объекте, p_{ij} — удельные приведенные затраты, t_{ij} — трудоемкость, T_j — трудовые ресурсы строительной организации по способу j , A_i — суммарный объем работ по объектам типа i .

Эта модель может быть применена также для случая, если перед строительной организацией ставятся задачи выполнения работ, общая трудоемкость которых превышает мощность организации. При одинаковой степени важности и срочности всех работ строители заинтересованы в выборе тех объектов и тех способов, которые обеспечат минимальные затраты на производство работ.

В диссертации рассмотрен расчетный пример использования предложенной модели.

На основании изучения структуры определенных во второй главе затрат и с учетом материалов других исследований описаны пути удешевления специальных способов. При этом наряду с общими направлениями (снижение расходов на бурение скважин) каждому способу свойственны характерные особенности в распределении затрат. Так, для химического закрепления грунтов преобладающее влияние имеют расходы на бурение скважин и эксплуатацию рабочих систем, куда входит стоимость реагентов. Для водопонижения имеет место явная зависимость структуры затрат от типа выработки (для ствола превалируют затраты на бурение и эксплуатацию установки, для тоннеля — бурение и монтаж рабочих систем, для котлована — крепление откосов). По способу искусственного замораживания устройство скважин для замораживающих колонок и эксплуатация установок требуют 76—87% суммарных затрат, причем до двух пятых затрат приходится на эксплуатацию замораживающих агрегатов.

Отсюда вытекают и пути снижения затрат: сокращение объемов буровых работ и применение высокопроизводительного бурильного оборудования, уменьшение продолжительности замораживания как на активном, так и на пассивном режиме.

Глава III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СПОСОБА ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ

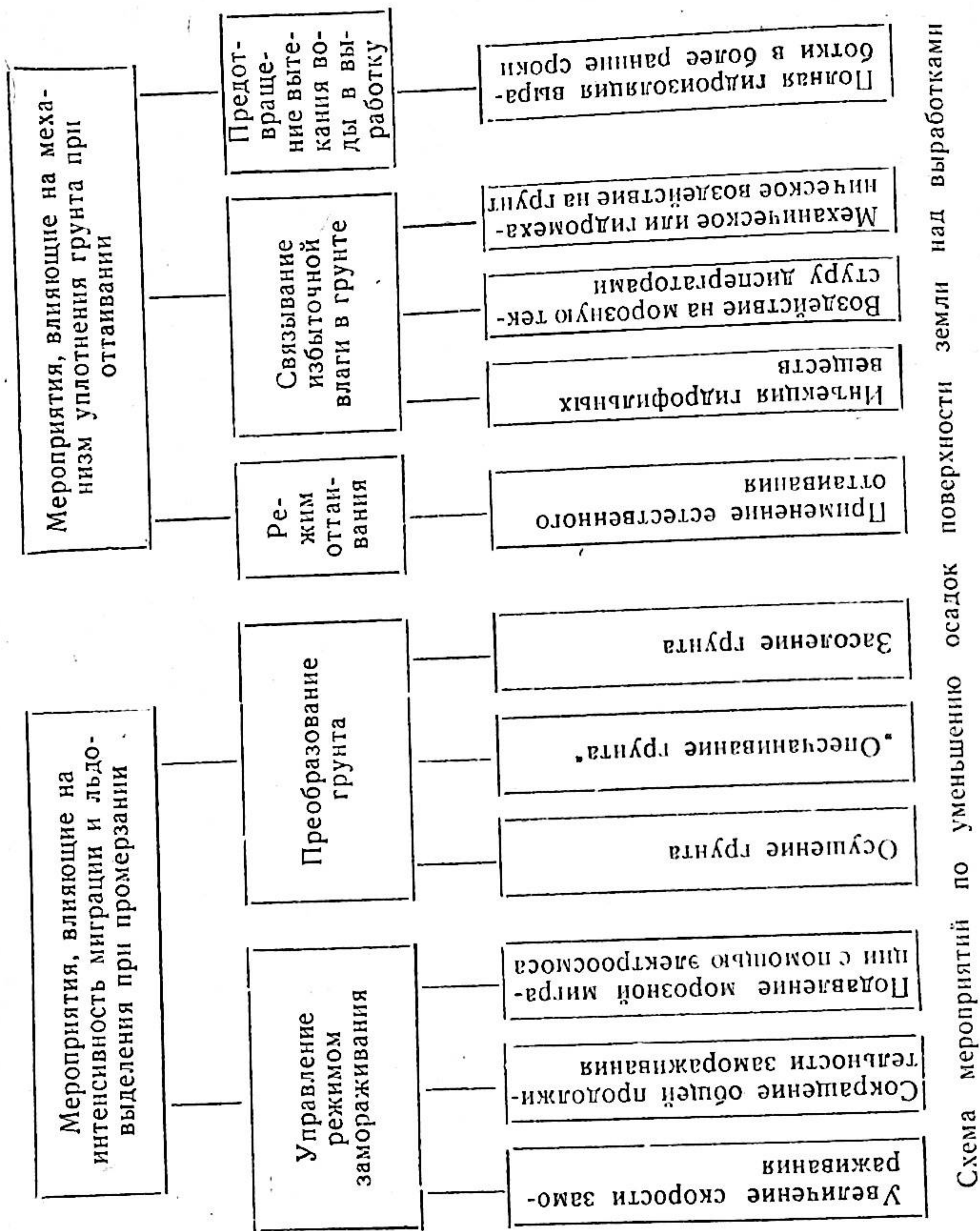
Одной из наиболее существенных причин неэффективности способа замораживания для некоторых конкретных ситуаций и появления предложений о полном отказе от использования

этого способа является возникновение осадок поверхности земли над выработками, пройденными с замораживанием грунтов, связанные с этим деформации зданий и инженерных сооружений и необходимость производить дополнительные затраты на их ремонт и восстановление. Поскольку затраты эти довольно велики (до 4 рублей на 1 м³ замороженного грунта по данным Ленметростройтреста), то снижение их — это тоже путь удешевления специального способа. Величина осадок и деформаций определяется, в конечном счете, теми процессами, которые происходят в грунтах при их замораживании и оттаивании. При промерзании грунтов, содержащих большое число мелкодисперсных глинистых частиц, в определенных условиях наблюдается пучение — увеличение объема. Пучение объясняется морозной миграцией грунтовой влаги и избыточным льдовыделением. При оттаивании вследствие уплотнения грунтового массива происходят осадки, которые значительно превышают величину пучения.

Анализ многочисленных исследований, посвященных процессам морозной консолидации глинистых грунтов, показывает, что эти процессы, а значит и пучение и осадки, зависят от ряда факторов.

Наиболее удовлетворительным образом связать все многообразные факторы и объяснить происходящие явления позволяет энергетическая теория миграции влаги при промерзании. По этой теории движущей силой миграционного процесса является свободная энергия поверхности частиц грунта, возрастающая при понижении температуры. Эта теория послужила основой для разработки направлений, мер и приемов борьбы с пучением и последующими осадками (см. схему). Их анализ, выполненный в работе с точки зрения наибольших возможностей получения эффекта, позволил отобрать часть из них для экспериментальной проверки в лабораторных условиях, а именно: понижение температуры замораживания; сокращение продолжительности замораживания; подавление морозной миграции постоянным электрическим током; диспергация грунтов; снижение влияния дренирующих свойств выработки.

Влияние этих факторов на ход морозной консолидации изучалось на образцах грунтовой пасты, приготовленной из пылеватого ленточного суглинка ленинградских четвертичных отложений, являющегося типичным водоносным неустойчивым грунтом, и на образцах из глуховецкого каолина, имеющего ярко выраженные пучинистые свойства.



Эксперименты выполнены с использованием компрессионных приборов специальной конструкции, позволяющих производить одностороннее замораживание образцов (только сверху) в условиях открытой системы и предусматривающих размещение различных устройств для воздействия на процесс промерзания грунта и дистанционного контроля этого процесса.

Исследования производились по методике, разработанной автором и откорректированной в ходе опытов.

Всего в общей сложности проведено около 100 испытаний образцов глинистых грунтов при различных температурах и продолжительности замораживания, с электроосмосом и без него, при различной возможности вытекания влаги, с введением диспергирующих добавок и без такового.

В сводной таблице экспериментальных данных, приведенной в работе, зафиксированы основные показатели деформативности грунтов, условия приготовления грунтовых паст, укладки и уплотнения пасты в приборах, температурный и временной режим замораживания, условия пропуска постоянного электрического тока и уплотнения образцов при оттаивании.

Для выяснения влияния на процесс морозной консолидации скорости замораживания все экспериментальные данные при анализе были сгруппированы по признаку: температура в холодильной камере. Образцы суглинка испытывались при температурах -2° , -3° , -4° , -17° , -40° и -60° С, образцы каолина $-4,5^{\circ}$, -5° , -30° , -40° и -60° С. Полученные зависимости деформаций пучения и осадок от температуры убедительно свидетельствуют о том, что при понижении температуры уменьшается величина как пучения, так и осадки. Для образцов суглинка изменение температуры замораживания от -4° С до -60° С привело к уменьшению пучения более чем в три раза. Одновременно снизились и осадки, хотя, например, для каолина осадки все-таки имели место даже при температуре -60° С. Представляется, что метод глубокого холода (низкотемпературное замораживание) в совокупности с другими приемами должен найти применение как средство уменьшения деформативности глинистых грунтов.

Помимо скорости замораживания на величину избыточного льдовыделения, а следовательно, на величину осадки влияет продолжительность пребывания грунта в замороженном состоянии (при возможности постоянного подтока влаги к фронту замораживания). Опыты с различными сроками пре-

бывания образцов грунта в холодильной камере показали, что величина пучения грунта находится в прямой зависимости от длительности замораживания. Снижение деформаций пучения в два—три раза наблюдается при сокращении срока в 1,3—2,0 раза. Между тем, как уже отмечено, такое же изменение величины пучения при понижении температуры замораживания происходит в интервале -4° — -60° С. Можно полагать, что наиболее целесообразным будет сочетание сокращения длительности активного режима путем применения низких температур и снижения срока замораживания за счет пассивного режима.

Использование постоянного электрического тока как средства подавления морозной миграции влаги по сравнению с известным электроосушением требует значительно меньшего расхода электроэнергии. В наших опытах плотность тока была небольшой (измеряемой в миллиамперах) в связи с резким увеличением электросопротивления грунта при замерзании. Величины пучения образцов каолина, подвергнутых электроосмотическому воздействию, оказались вчетверо меньше, чем при замораживании без пропуска тока. При этом подавляющая часть пучения произошла не сразу, а после того, как сила тока упала почти до нуля (из-за значительного уменьшения электропроводности грунта при замораживании), т. е. как бы по окончании активного режима. В 2—3 раза уменьшились осадки образцов при воздействии электроосмоса. Эксперименты позволяют сделать вывод, что применение постоянного электрического тока может дать существенный эффект по уменьшению деформативности даже сильнопучинистых грунтов. Но этот эффект, как и у метода глубокого холода, получается, главным образом, на стадии активного замораживания.

Поскольку уплотнение водонасыщенных глинистых грунтов возможно только при условии отжатия из них влаги, наличие или отсутствие путей вытекания отжатой воды должно существенно влиять на ход процесса морозной консолидации на втором его этапе — при оттаивании. Опыты по уплотнению образцов суглинка и каолина с различной степенью возможности оттока влаги показали, что положительный эффект закупорки путей вытекания, т. е. своевременной (до оттаивания) гидроизоляции выработок, состоит в снижении интенсивности нарастания осадок в 3—5 раз по сравнению с опытами при свободном вытекании воды.

Действие на оттаивающие грунты диспергирующих добавок, с одной стороны, может привести к увеличению суммарной поверхности глинистых частиц и меньшим водоотдаче и уплотнению; с другой стороны, из-за более упорядоченной ориентации глинистых частиц может произойти большее уплотнение. Диспергирование образцов суглинка и каолина пиррофосфатом натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) при концентрации раствора 0,1%, 0,5% и 1% (последние два значения — только для суглинка) не дало ожидаемых результатов по снижению уплотняемости грунтов. Здесь, по-видимому, возобладал фактор более плотной упаковки глинистых частиц после диспергации.

Таким образом, эксперименты позволяют рекомендовать для натурной проверки и внедрения использование низкотемпературного замораживания, сокращение продолжительности воздействия холода на грунт различными приемами, раннюю гидроизоляцию выработок. Электроосмотическое подавление морозной миграции влаги нуждается в дополнительной проверке.

Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СПОСОБА ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ

Пути удешевления способа замораживания и уменьшения осадок поверхности земли во многом совпадают. Действительно, вышеназванные рекомендации, ведущие к сокращению длительности замораживания, обеспечивают и снижение затрат как за счет уменьшения расходов на эксплуатацию устройств, так и за счет уменьшения деформаций сооружений и связанных с этим расходов.

Мероприятия по совершенствованию способа замораживания могут быть осуществлены уже в настоящее время. Так, значительного сокращения продолжительности пассивного замораживания можно добиться при резком увеличении темпа проходки выработок путем механизации проходческих работ. Это относится, главным образом, к наклонным тоннелям метрополитена, средний темп проходки которых при разработке грунта вручную составляет 1 п. м. в сутки. ЦНИИСом и Ленметропроектом создана и испытывается проходческая машина ТМН-4, позволяющая увеличить темп втрое. Уменьшение длительности активного замораживания путем применения низких температур охлаждающего рассола возможно

при использовании высокопроизводительных холодильных агрегатов с температурой кипения хладагента -40° и ниже, выпускаемых отечественной промышленностью (аммиачные компрессоры двухступенчатого сжатия в агрегатах типа АДС, двухступенчатые блоккартерные компрессоры типов ДАУ и ДАО и др.). Этим же целям могут служить способы безрас-сольного замораживания с непосредственным испарением в колонках аммиака, фреона-143 или с помощью охлажден-ного воздуха, дающие возможность получить температуры $-80 \div -100^{\circ}\text{C}$. Опытные работы, проводимые рядом инсти-тутов, подтверждают эффективность этих методов. Пол-ная гидроизоляция выработок в ранние сроки (до оттаи-вания ледогрунтового ограждения) в реальных условиях не производится потому, что применяемые изоляционные мате-риалы (цемент ВРЦ и свинец) не способны сохранять плот-ный контакт с материалом обделки при раскрытии стыков, происходящем из-за деформаций обделки. Если же приме-нять в качестве изоляции пластозластичные нетвердеющие герметизирующие мастики типов УМС-50 и УМ-40, как это рекомендуется на основе исследований ЦНИИСа, то ранняя гидроизоляция становится возможной и целесообразной. Эти мастики обладают высокой химической стабильностью, удобо-укладываемостью в швы различного профиля, малой усадкой. Они недороги, недефицитны. Их относительное удлинение без разрыва составляет 500%. Изоляция мастикой с цементной пробкой выдерживает гидростатическое давление до 4 атм и раскрытие стыка до 400 микрон, что вчетверо больше до-пустимого для обычной гидроизоляции. Широкие возмож-ности для сокращения продолжительности замораживания предоставляет комплекс мероприятий так называемого перма-нентного замораживания и оттаивания, предложенный ленин-градскими учеными и инженерами и исследованный автором данной работы. Замораживающее устройство предусматри-вает перемещение цилиндра, в котором циркулирует рассол, внутри колонки, заполненной неподвижной холодопередаю-щей средой (например, тем же рассолом) и, тем самым, пере-мещение фронта замораживания вдоль выработки. Вслед за замораживанием идет проходка, затем возведение постоян-ной обделки и оттаивание грунтов. Здесь особенно целесо-образно использовать низкотемпературные установки. Расче-ты показывают, что сроки замораживания уменьшаются в 2—3 раза по сравнению с обычным ведением работ. Опре-деленные в работе наиболее рациональные диаметры цилинд-

ра и колонки (соответственно, 3 и 4 дюйма) обеспечивают, с одной стороны, сравнительно небольшие дополнительные холодопотери, возникающие из-за наличия слоя неподвиж-ного рассола между стенками цилиндра и колонки, а с дру-гой стороны, свободное продвижение цилиндра в колонке и минимальные затраты по замораживанию в целом. Вели-чина относительных холодопотерь как для обычного, так и для низкотемпературного замораживания, составляет 17—20% от величины холодопередачи от колонки к грунту, рассчитан-ной для принятой в настоящее время схемы замораживания.

Перманентный способ отрабатывался в натурном экспери-менте, поставленном с участием автора на одном из объектов Ленметростроя и подтвердившем расчетные показатели про-цесса теплопередачи между замораживающим устройством и грунтом, а также реальность этого способа.

Таким образом, рекомендации по усовершенствованию способа замораживания имеют конкретные основы для своего осуществления. Выполненные в диссертации расчеты эконо-мической эффективности использования этих рекомендаций для проходки шахтного ствола и наклонного тоннеля пока-зывают, что приведенные затраты по усовершенствованному замораживанию могут быть на 25% ниже, чем по обычному, т. е. указывают на целесообразность внедрения названных мероприятий в производство.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. В результате исследований разработана методика вы-бора специальных способов при проектировании проходки подземных выработок в условиях Ленинграда, одобренная и используемая институтом Ленметрострой.

Целесообразность использования специальных способов определяется различными техническими и экономическими факторами: сущностью способа, его надежностью и универ-сальностью, свойствами грунтов, типов подземного соору-жения, наличием разработанной и освоенной организации и технологии производства работ, величиной денежных и тру-довых затрат, продолжительностью подготовки и проведения работ, мощностью специализированных строительных органи-

заций. В диссертации предложен порядок последовательного учета указанных факторов.

На основе анализа и систематизации литературных материалов предложена классификация специальных способов, предназначенная для назначения вариантов проходки на первом этапе — исходя из видов и свойств грунтов и необходимого характера улучшения их свойств. Составлена таблица условий применения специальных способов, в которой выполнено дальнейшее ограничение возможных вариантов по типам проходимых выработок.

2. Разработана методика технико-экономического сопоставления вариантов глубины заложения тоннелей, позволяющая очертить круг технически применимых в конкретных условиях специальных способов.

Предложена методика экономического сопоставления специальных способов, дающая возможность рассмотреть и экономически обосновать в комплексе конструкции ограждений выработок, организацию и технологию производства работ по их созданию с применением для этого существующих проектных решений по аналогичным сооружениям, либо разрабатываемых в ходе технико-экономических расчетов проектных схем вариантов проходки.

Разработана формула расчета приведенных затрат по вариантам организации производства специальных работ и даны способы определения входящих в нее показателей. Эта формула позволяет учитывать все затраты, связанные с использованием специального способа, в сопоставимом виде благодаря приведению к одной размерности и одному моменту времени.

3. Проведены технико-экономические расчеты для наиболее типичных условий Ленинграда. Выполнен технико-экономический анализ полученных показателей, указывающий на рациональность применения способа искусственного замораживания грунтов в широком диапазоне грунтовых условий, а также на целесообразность отказа от этого способа в ряде конкретных ситуаций.

4. Составлена экономико-математическая модель учета ограничений трудовых ресурсов строительных организаций, которая дает возможность на основе предварительно рассчитанных технико-экономических показателей специальных способов оптимально планировать специальные работы на объектах.

5. Предложен комплекс мероприятий по совершенствованию способа искусственного замораживания грунтов. Разработана методика и выполнены экспериментальные исследования основных мероприятий, позволившие рекомендовать конкретные пути улучшения способа: использование метода глубокого холода на активном режиме, сокращение длительности пассивного режима путем организации механизированной проходки и применения перманентного замораживания, раннюю гидроизоляцию выработок.

6. Обоснованы пути реализации указанных выше рекомендаций. Перманентное замораживание исследовано теоретически и опробовано в натурном эксперименте, подтвердившим его рациональность. Расчеты показали, что внедрение усовершенствований способа замораживания может привести к снижению приведенных затрат по шахтным стволам и наклонным тоннелям метрополитена на 25%.

Основные положения диссертации изложены в работах:

1. Совершенствование и экономическое обоснование применения способа искусственного замораживания грунтов при строительстве подземных сооружений в Ленинграде. ЛДНТП, Л., 1970.
2. Техничко-экономический анализ применимости специальных способов проходки подземных выработок в условиях Ленинграда. Труды ЛИЭИ им. П. Тольятти, вып. 82, Л., 1971 (в печати).
3. Теоретические предпосылки и методика экспериментальных исследований деформативности глинистых грунтов при проходке подземных выработок способом искусственного замораживания в условиях Ленинграда. Труды ЛИЭИ им. П. Тольятти, вып. 70, Л., 1969 (совместно с С. Н. Сильвестровым).
4. К методике экономической оценки проектных решений. «Метрострой», инф. научно-техн. сборник, № 6, 1970 (совместно с Я. Д. Лейбманом и В. И. Медейко).
5. Методы экономического сравнения специальных способов при сооружении горных тоннелей и метрополитенов. Материалы II научно-техн. совещания по водопонижению на строительстве метрополитенов. М., 1970, в печати (совместно с Я. Д. Лейбманом).

По отдельным вопросам диссертации сделаны доклады:

1. На заседании Технического Совета отделения тоннелей и метрополитенов ЦНИИСа, в 1967 г.
2. На заседании Технического Совета Ленметропроекта, в 1969 г.
3. На заседании секции «Организация и механизация работ» Технического Совета Ленметропроекта, в 1970 г.

заций. В диссертации предложен порядок последовательного учета указанных факторов.

На основе анализа и систематизации литературных материалов предложена классификация специальных способов, предназначенная для назначения вариантов проходки на первом этапе — исходя из видов и свойств грунтов и необходимого характера улучшения их свойств. Составлена таблица условий применения специальных способов, в которой выполнено дальнейшее ограничение возможных вариантов по типам проходимых выработок.

2. Разработана методика технико-экономического сопоставления вариантов глубины заложения тоннелей, позволяющая очертить круг технически применимых в конкретных условиях специальных способов.

Предложена методика экономического сопоставления специальных способов, дающая возможность рассмотреть и экономически обосновать в комплексе конструкции ограждений выработок, организацию и технологию производства работ по их созданию с применением для этого существующих проектных решений по аналогичным сооружениям, либо разрабатываемых в ходе технико-экономических расчетов проектных схем вариантов проходки.

Разработана формула расчета приведенных затрат по вариантам организации производства специальных работ и даны способы определения входящих в нее показателей. Эта формула позволяет учитывать все затраты, связанные с использованием специального способа, в сопоставимом виде благодаря приведению к одной размерности и одному моменту времени.

3. Проведены технико-экономические расчеты для наиболее типичных условий Ленинграда. Выполнен технико-экономический анализ полученных показателей, указывающий на рациональность применения способа искусственного замораживания грунтов в широком диапазоне грунтовых условий, а также на целесообразность отказа от этого способа в ряде конкретных ситуаций.

4. Составлена экономико-математическая модель учета ограничений трудовых ресурсов строительных организаций, которая дает возможность на основе предварительно рассчитанных технико-экономических показателей специальных способов оптимально планировать специальные работы на объектах.

5. Предложен комплекс мероприятий по совершенствованию способа искусственного замораживания грунтов. Разработана методика и выполнены экспериментальные исследования основных мероприятий, позволившие рекомендовать конкретные пути улучшения способа: использование метода глубокого холода на активном режиме, сокращение длительности пассивного режима путем организации механизированной проходки и применения перманентного замораживания, раннюю гидроизоляцию выработок.

6. Обоснованы пути реализации указанных выше рекомендаций. Перманентное замораживание исследовано теоретически и опробовано в натурном эксперименте, подтвердившим его рациональность. Расчеты показали, что внедрение усовершенствований способа замораживания может привести к снижению приведенных затрат по шахтным стволам и наклонным тоннелям метрополитена на 25%.

Основные положения диссертации изложены в работах:

1. Совершенствование и экономическое обоснование применения способа искусственного замораживания грунтов при строительстве подземных сооружений в Ленинграде. ЛДНТП, Л., 1970.

2. Техничко-экономический анализ применимости специальных способов проходки подземных выработок в условиях Ленинграда. Труды ЛИЭИ им. П. Тольятти, вып. 82, Л., 1971 (в печати).

3. Теоретические предпосылки и методика экспериментальных исследований деформативности глинистых грунтов при проходке подземных выработок способом искусственного замораживания в условиях Ленинграда. Труды ЛИЭИ им. П. Тольятти, вып. 70, Л., 1969 (совместно с С. Н. Сильвестровым).

4. К методике экономической оценки проектных решений. «Метрострой», инф. научно-техн. сборник, № 6, 1970 (совместно с Я. Д. Лейбманом и В. И. Медейко).

5. Методы экономического сравнения специальных способов при сооружении горных тоннелей и метрополитенов. Материалы II научно-техн. совещания по водопонижению на строительстве метрополитенов. М., 1970, в печати (совместно с Я. Д. Лейбманом).

По отдельным вопросам диссертации сделаны доклады:

1. На заседании Технического Совета отделения тоннелей и метрополитенов ЦНИИСа, в 1967 г.

2. На заседании Технического Совета Ленметропроекта, в 1969 г.

3. На заседании секции «Организация и механизация работ» Технического Совета Ленметропроекта, в 1970 г.

4. На научной конференции ЛИЭИ по итогам научно-исследовательских работ за 1969 год, в 1970 г.

5. На II научно-техническом совещании по водопонижению на строительстве метрополитенов, в 1970 г.
