

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
(НИИСК)

На правах рукописи

БОРИШПОЛЬ Константин Николаевич



УДК 624.153:624.138.22:624.131.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ФУНДАМЕНТОВ
ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

05.23.02 Основания и фундаменты

Автореферат

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Киев 1994



00778594 (/)

Научный руководитель -

доктор технических наук,
профессор

С. Н. Клешиков

Научный консультант -

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

А. А. Петраков

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор

И. П. Бойко

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Н. С. Метелюк

Ведущая организация - ГПИ Донецкий Стройпроект

Защита состоится "21" июня 1994 г. в 15⁰⁰ час. на заседании специализированного совета К.033.09.01 по присуждению ученой степени кандидата технических наук Научно-исследовательского института строительных конструкций по специальности 05.23.02 - основания и фундаменты по адресу: 252037, г. Киев, ул. Ивана Климченко, 5/2 (актовый зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "20" мая 1994 г.Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

Ю. М. Кундратович

ЛНБ ім. В. Стефаника
ДН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы. Экономическое и социальное развитие Украины во многом определяется темпами и качеством капитального строительства и в первую очередь в промышленно развитых регионах. Характерной особенностью данных регионов является то, что на их территории производится добыча полезных ископаемых (Донецкая, Луганская, Днепропетровская области). Рост добычи приводит к расширению районов, подверженных влиянию подработки. Следовательно здания и сооружения эксплуатируемые в данных районах испытывают дополнительные воздействия от вынужденных деформаций земной поверхности.

За последнее десятилетие разработаны и внедрены в практику строительства эффективные типы фундаментов, отличающиеся высокой технологичностью, малой материалоемкостью, повышенной несущей способностью. К таким типам фундаментов относятся различные модификации фундаментов в вытрамбованных котлованах, фундаменты из забитых блоков и различные виды свай, позволяющие создавать уширенную пятую в основании.

Применение данных видов фундаментных конструкций на подрабатываемых территориях сдерживается не достаточной изученностью особенностей их работы в условиях вынужденных деформаций основания, возникающих при перемещении мульды движения. Также остается открытым вопрос об изменении прочностных и деформационных характеристик грунта основания при деформациях земной поверхности.

Использование в практике проектирования методов расчета не учитывающих специфику работы фундаментных конструкций на подрабатываемых территориях приводит к необоснованным запасам прочности или, наоборот, к снижению надежности вводимых объектов.

Целью работы является разработка методов расчета несущей способности и деформативности бетонных фундаментов с уширенной пятой и уплотненной зоной в основании с учетом воздействий деформаций земной поверхности и экспериментально проверить полученные результаты. Решение этой задачи осуществляется комплексно, на основе сопоставления экспериментальных и теоретических исследований. Работа по теме диссертации входила в состав исследований, проводившихся в Донецком Промстройинипроекте в 1988..1991 годах по плану госзаказов 06-0331-88/3-89 и 06-0331-88/4-90, в которых соискатель принимал непосредственное участие.

В соответствии с целью диссертации были поставлены следующие задачи:

- провести экспериментальные исследования изменения физико-механических характеристик основания, подверженного горизонтальным деформациям в следствии подработки;
- разработать методику определения коэффициентов жесткости подрабатываемого основания;
- апробировать на моделях и в натурных экспериментах технологи возведения экструано-трамбованных фундаментов;
- разработать методику расчета фундаментов повышенной несущей способности с учетом изменений физико-механических характеристик грунта при подработке;
- установить степень достоверности полученных по данной методике результатов экспериментальными исследованиями на модельных фундаментах;
- реализовать полученные методики как дополнение к программному обеспечению, выполняющему расчеты зданий с учетом деформационных воздействий от подработки;
- выполнить численные исследования работы системы "подрабатываемое основание - фундамент повышенной несущей способности - каркасное верхнее строение";
- провести натурные экспериментальные исследования на фрагменте каркаса возведенного здания деформативности фундамента в вытрамбованном котловане и зависимости усилий в каркасе от его горизонтальных перемещений;
- разработать инженерную методику расчета фундаментов повышенной несущей способности на подрабатываемом основании;
- использовать полученные результаты в практике проектирования и строительства.

Автор защищает:

- методику определения коэффициентов жесткости подрабатываемого основания;
- методику расчета фундаментов повышенной несущей способности, возводимых на подрабатываемых территориях;
- результаты численных исследований железобетонной рамы с фундаментами повышенной несущей способности на деформируемом основании.

Научная новизна диссертации представлена:

- новым видом фундаментов повышенной несущей способности

экструзио-трамбованными фундаментами;

- результатами исследования изменения коэффициентов жесткости подрабатываемого основания;

- инженерной методикой определения коэффициентов жесткости подрабатываемого основания;

- результатами исследований работы фундаментов повышенной несущей способности при горизонтальных деформациях основания;

- результатами численных исследований системы "подрабатываемое основание - фундаменты повышенной несущей способности - рамное верхнее строение";

- инженерной методикой расчета фундаментов повышенной несущей способности при горизонтальных деформациях основания от подработки.

Достоверность результатов подтверждена сопоставлением данных экспериментальных исследований, проведенных на модельных и натуральных фундаментах, и численных исследований по методике изложенной в данной работе, а так же по другим известным методикам.

Практическая ценность работы:

- основываясь на результатах сопоставления расчетов с экспериментальными данными работы фундаментов повышенной несущей способности можно рекомендовать разработанную инженерную методику для применения в практике проектирования;

- применение предложенной методики определения коэффициентов жесткости основания при воздействии горизонтальных деформаций растяжения позволяет более точно прогнозировать осадки фундаментов и дополнительные усилия в конструкциях подрабатываемых зданий и сооружений;

- разработана и опробована на мелкомасштабных моделях и в натуральную величину в натуральных условиях технология возведения экструзио-трамбованных фундаментов.

Апробация работы.

Результаты исследований, представленные в данной диссертационной работе, докладывались на:

- Всесоюзном научно - техническом семинаре "Проблемы строительства объектов угольной промышленности на подрабатываемых территориях" (Донецк, 1989 г.);

- научно - технической конференции молодых специалистов "Совершенствование проектных решений промышленных зданий и сооружений на основе использования научно - технических достижений" (Днепро-

петровск, 1990 г.);

Результаты исследований использованы при проектировании фундаментов в вытрамбованных котлованах поликлиники в Куйбышевском районе г. Донецка. Общий экономический эффект от внедрения составил 163 тыс. рублей в ценах 1989 года.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано четыре работы. Проведенные в 1989...1991 гг. исследования отражены также в отчетах Донецкого Промстройинипроекта.

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Общий объем 174 страниц, из них 101 страница основного текста, 59 рисунков, 122 наименования использованных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во вступительной части дано обоснование актуальности и практической ценности работы, сформулированы цели и задачи исследований.

В первом разделе выполнен короткий обзор развития и применения фундаментов, технология возведения которых позволяет создавать уплотненные зоны грунта под подошвой и по боковым поверхностям, а также в процессе формирования создавать уширение частей тела фундамента. Далее в тексте такие фундаменты будут именоваться *фундаментами повышенной несущей способности (ФПНС)*. Рассмотрены следующие их разновидности: фундаменты в вытрамбованных котлованах, фундаменты из забивных блоков, сваи в пробитых скважинах, набивные и частотрамбованные сваи. Были показаны характерные конструктивные и технологические особенности каждого типа ФПНС.

Далее в разделе описываются методы расчета фундаментов повышенной несущей способности по двум группам предельных состояний: по несущей способности и по деформациям. Специфика этих расчетов заключается в том, что в процессе формирования уширенной пяты создается уплотненная зона грунта, которая во многом определяет прочностные и деформационные характеристики основания. При расчете ФПНС учитываются следующие основные положения:

в массиве грунта, окружающего фундамент, напряжения возни-

кают как по подошве, так и по боковой поверхности фундамента;

- в расчетах грунт рассматривается как упругая линейно - деформируемая среда;

- при формировании тела фундамента (в том числе и уширения) изменятся физико-механические характеристики грунта в непосредственной близости от фундамента.

Наиболее полно методы расчета ФНС освещены в работах Крутова В. И., Троппа В. Б., Багдасарова К. А. Разработанные ими методы расчета ФНС были положены в основу нормативных и рекомендательных документов.

Расчетная несущая способность ФНС на вертикальную нагрузку определяется как наименьшая величина из трех ниже приведенных: несущей способности втрамбованного в дно котлована жесткого материала (бетон, гравий, щебень), несущей способности уплотненного грунта в пределах уплотненной зоны (ниже подошвы фундамента), несущей способности подстилающего грунта естественной плотности.

Практикой проектирования и наблюдениями при эксплуатации зданий и сооружений с фундаментами повышенной несущей способности установлено, что расчет фундаментов по деформациям является основополагающим для обеспечения прочности и эксплуатационной пригодности зданий. В работах Багдасарова К. А. предложено для определения перемещений фундаментов использовать теорию расчета с переменным коэффициентом постели по глубине.

Далее в разделе рассматривался вопрос о влиянии подаемых горных выработок на напряженное состояние и физико - механические характеристики грунтов. Влияние деформаций земной поверхности на значения деформационных характеристик грунта исследовали Горбанов, Афанасьев, Бронштейн, Жусупбеков, Граски, Гусев, Kwiatek, Budzynski, Geddes, Wasilkowski и др. По мнению авторов, характеристики грунтов изменяются при действиях подработки в следствии изменения плотности в процессе растяжения или сжатия массива основания под фундаментами зданий и сооружений. Это отражено в теоретических и подтверждено натурными исследованиями. В данных работах сделан вывод, что на величины деформаций грунта наибольшее влияние оказывают горизонтальные деформации, а наибольшие изменения обусловлены горизонтальными деформациями растяжения.

Дополнительные воздействия, передаваемые на систему "фундамент - верхнее строение", возникающие при прохождении мульды сдвигания, составляют значительную часть от общих нагрузок, действуя

щих на строительные конструкции. Характеристики грунта в расчетах принимаются неизменными. Такой подход приводит завышению величин усилий, возникающих в основании и строительных конструкциях.

Следовательно получение методики расчета ФПНС на подрабатываемом основании позволит шире внедрять эффективные виды фундаментов в условиях подработок.

Второй раздел посвящен экспериментальным исследованиям работы ФПНС на деформируемом (подрабатываемом) основании.

Для проведения экспериментальных исследований использовался стенд позволяющий имитировать горизонтальные деформации земной поверхности. В качестве фундамента использовался прямоугольный абсолютно жесткий штамп.

В результате исследований изменения физико - механических характеристик подрабатываемого основания был выработан подход, базирующийся на предположении, что при деформациях растяжения изменяется первоначальный объем грунта попавшего в зону влияния горных работ, а объем скелета грунта остается постоянным. Основываясь на этом предположении была получена формула для определения модуля деформации основания, испытывающего горизонтальное растяжение (сжатие):

$$E_{\text{подр}} = \frac{P \rho}{P \rho / E_0 + (1 + a_x)(1 + a_y)}, \quad (1)$$

где E_0 - модуль деформации грунта до подработки; P - среднее давление на уровне подошвы фундамента; a_x, a_y - горизонтальные деформации земной поверхности; ρ - коэффициент равный 0,8.

При подстановке значения модуля деформации, полученного по формуле (1), в формулы для определения коэффициентов жесткости, получим их значения для случая растяжения (сжатия) основания при горизонтальных деформациях.

Коэффициент жесткости основания при равномерном сжатии:

$$C_z = \frac{\omega_z E_{\text{подр}}}{\sqrt{F_{\Pi}} (1 - \mu^2)} \quad (2)$$

Коэффициент жесткости основания при повороте (неравномерном сжатии):

$$C_{\varphi} = \frac{\omega_{\varphi} E_{\text{подр}}}{\sqrt{F_{\Pi}} (1 - \mu^2)} \quad (3)$$

Коэффициент жесткости основания при сдвиге:

$$C_x = \frac{\omega_z E_{\text{подр}}}{\sqrt{F_{\Pi}} (1 + \mu) (1 - \mu \omega_x)} \quad (4)$$

где F_{Π} - площадь подошвы фундамента; $\omega_x, \omega_z, \omega_p$ - коэффициенты формы подошвы фундамента.

Данные значения коэффициентов жесткости подрабатываемого основания используются для определения перемещений фундаментов. Результаты испытания штампа на модельном основании, испытываемом деформации растяжения, приведены на рис. 1 и 2.

Экспериментальные исследования на моделях работы ФНС в условиях деформаций земной поверхности проводились для двух типов фундаментов: фундаменты в вытрамбованных котлованах и экструзно-трамбованные фундаменты (ЭТФ).

Экструзно-трамбованный фундамент предложен коллективом авторов из Донецкого Цпромстройинпроекта и представляет собой фундамент формируемый в грунте путем погружения специального рабочего органа сваебойным оборудованием и вытеснением его из грунта бетоном, подаваемым под подошву. Технология формирования ЭТФ отработывалась на мелкомасштабных модельных фундаментах и в натурных условиях в рамках настоящей работы.

Данные, полученные в результате экспериментальных исследований модельных ФНС, сравнивались с теоретическими прогнозами. Величины перемещений модельных ФНС определялись по следующим зависимостям:

- вертикальные перемещения:

$$z = \frac{N + G}{k_p F_0 C_x \cos \alpha + C_z^{\Pi} F_{\text{уш}}} \quad (5)$$

- угловые перемещения:

$$\varphi = \frac{M}{C_{\varphi}^{\Pi} I_{\Pi} + \frac{3}{8} C_{\varphi} I_0} \quad (6)$$

где N - вертикальная нагрузка; G - масса фундамента; M - моментная нагрузка; F_0 - площадь боковой поверхности фундамента; $F_{\text{уш}}$ - площадь уширения из трамбованного жесткого материала; I_{Π} , I_0 - моменты инерции подошвы и боковой поверхности соответственно;

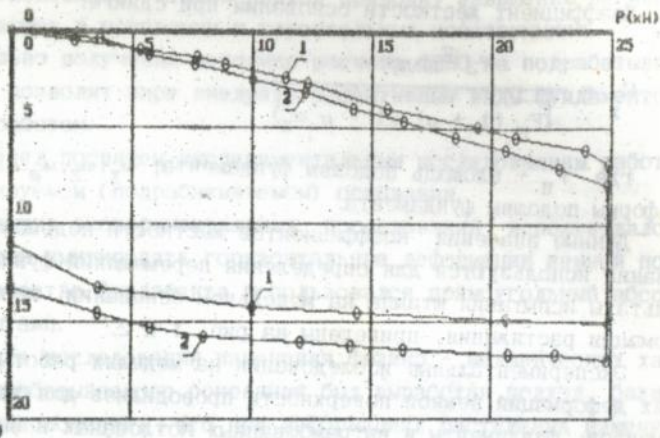


Рис. 1. Экспериментальные зависимости осадки фундамента от действия вертикальной нагрузки и горизонтального растяжения грунта.

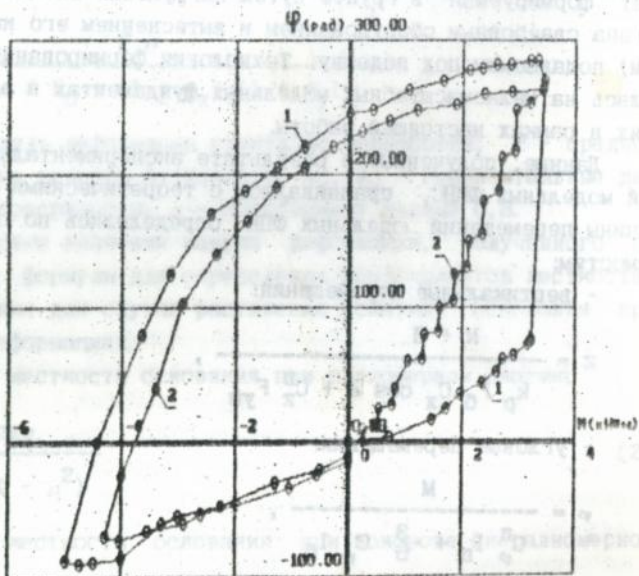


Рис. 2. Экспериментальные зависимости наклона штампа от действия момента и горизонтальных деформаций растяжения основания. Величины угла наклона на графиках даны в рад $\times 10^4$.

C_x - коэффициент жесткости грунта естественного сложения при сдвиге; $C_2^П, C_φ^П$ - коэффициент жесткости грунта по подошве фундамента при равномерном сжатии и повороте с учетом уплотненной зоны; $C_φ$ - коэффициент жесткости основания при повороте для неуплотненного грунта; α - наклон боковых поверхностей фундамента; K_p - коэффициент, учитывающий раз уплотнение грунта по боковой поверхности фундамента. Коэффициенты жесткости грунта по подошве ФПНС определяются с учетом уплотненного слоя со значением модуля деформации, определяемого по формуле:

$$E_{\text{упл}} = \frac{P \rho (1 + e)}{P \rho (1 + e) \frac{1}{E_0} + \gamma \left[\frac{1}{\gamma_{d \text{ упл}}} - \frac{1}{\gamma_d} \right]}, \quad (7)$$

где $\gamma_{d \text{ упл}}$ определяется по формуле:

$$\gamma_{d \text{ упл}} = \frac{1}{2} \left[\gamma_d + \frac{G \gamma_s \gamma_w}{G \gamma_w + W \gamma_s} \right], \quad (8)$$

где G - степень влажности уплотненного грунта; W - влажность грунта; γ_s - плотность частиц грунта; γ_w - удельный вес воды; γ_d - плотность сухого грунта; e - коэффициент пористости неуплотненного грунта. Результаты экспериментальных исследований влияния горизонтальных деформаций растяжения грунта на деформативности основания ФПНС приведены на рис. 3 и 4. Анализ экспериментальных данных и сопоставление их с теоретическими зависимостями позволил сделать вывод об удовлетворительном соответствии теоретических прогнозов и реальной работой ФПНС. Горизонтальные деформации растяжения модели основания вызывают приращение вертикальных и угловых перемещений ФПНС, что можно классифицировать как уменьшение коэффициента жесткости основания.

Предлагаемый в данной главе подход к анализу работы фундаментов повышенной несущей способности позволяет с удовлетворительной точностью прогнозировать ожидаемые перемещения фундаментов при горизонтальных деформациях растяжения, вызванных подработкой.

Третий раздел посвящен исследованиям работы ФПНС в системе "подрабатываемое основание - фундамент - верхнее строение". Здесь приведены данные о экспериментальных и численных исследованиях железобетонных рамных конструкций с фундаментами повышенной несущей способности на основаниях, испытывающих горизонтальные деформации

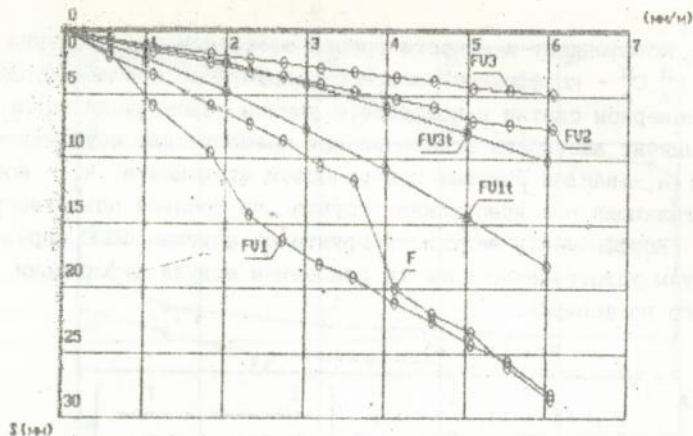


Рис. 3. График осадок модельных фундаментов при горизонтальном растяжении грунтового массива и постоянной вертикальной нагрузке.

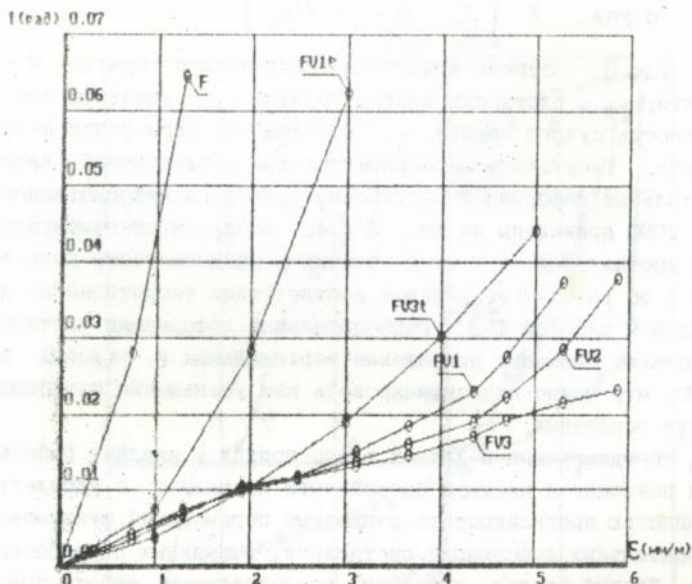


Рис. 4. График зависимости угловых перемещений модельных фундаментов в зависимости от горизонтальных деформаций растяжения грунта основания (величины вертикальной силы и момента, действующих на фундамент, не изменяются).

растяжения.

Натурные исследования проводились на фрагменте рамы строящегося четырехэтажного корпуса завода "Толас" в г. Донецка. Целью данных исследований являлось установление функциональной зависимости между усилиями, передаваемыми на фундамент в вытрамбованном котловане, и его перемещениями. Также исследовалась зависимость изменения напряженно-деформированного состояния каркаса здания от перемещений фундаментов. Наличие шва скольжения и податливых, в горизонтальной плоскости, связей позволило с помощью загрузочного устройства имитировать воздействие на колонну каркаса горизонтальных подвижек основания.

Теоретические прогнозы перемещений и усилий в элементах верхнего строения выполнен по результатам расчета по программе "Sprint-PC" (авторы: канд. техн. наук. Петраков А. А., инж. Боршюль К. Н.), использующую нелинейные диаграммы-работы материалов конструкций и грунта, учитывающей историю нагружения, а также в соответствии с теоретическими выкладками, помещенными во второй части данной работы, и нижеследующими уравнениями состояния.

Зависимость "момент - угол поворота фундамента":

$$M = \varphi \frac{I C}{\Pi \varphi \Pi} \left[1 + \frac{I_{\sigma} C_{\varphi \sigma}}{I_{\Pi} C_{\varphi \Pi}} \right], \quad (9)$$

соотношение при неравномерном деформировании боковой поверхности и подошвы:

$$\frac{C_{\varphi \sigma}}{C_{\varphi \Pi}} = \frac{1}{2} \frac{\omega_{\varphi \sigma}}{\omega_{\varphi \Pi}} \frac{\sqrt{F_{\Pi}}}{\sqrt{F_{\sigma}}}, \quad (10)$$

где все обозначения приняты в соответствии с главой 2, а индексы "σ" и "π" обозначают соответственно боковую поверхность и подошву фундамента.

Анализ зависимостей "поперечная сила - горизонтальное смещение" позволяет предположить, что при использовании конструктивных мер защиты зданий возводимых на подрабатываемых территориях, таких как отделение стана на лвом скольжении, устройство связей распорок и вертикальных гибких связей, большая часть перемещения фундамента при горизонтальной деформации растяжения основания воспринимается и компенсируется ими.

Численные исследования влияния деформации земной поверхности на каркасные железобетонные здания с ФНС проводились с использованием программного комплекса "Sprint-PC" и "Tora". Для анализа работы системы "подрабатываемое основание - ФНС - верхнее строение" было выполнено три типа расчетов: упругий расчет; нелинейный расчет; нелинейный расчет с учетом изменения характеристик грунта при горизонтальных деформациях основания, вызванных подработкой.

Сравнительный анализ расчетов позволяет сделать следующие выводы. Характер напряженно - деформированного состояния рамной конструкции, полученный без учета специфики работы фундаментов на подрабатываемом основании (упругий расчет), не соответствует реально существующему. Так крайние колонны испытывают растяжение, что не соответствует данным многочисленных наблюдений и натуральных экспериментов для аналогичных железобетонных рам при сопоставимых значениях перемещений фундаментов от подработкой (горизонтальные перемещения крайних фундаментов - 0,096 м., вертикальные - 0,08 м.). Показано, что образование пластических шарниров в несущих элементах рамы приводит к общему перераспределению усилий в системе "фундамент - верхнее строение", и делает раму менее восприимчивой к перемещениям фундаментов. Следствием различий в описании физических процессов при упругой постановке (наиболее распространенная в практике проектирования) и нелинейной является разница в усилиях в сторону уменьшения при нелинейном расчете. Уменьшение расчетных усилий в элементах рамы происходит также за счет более податливого основания, чем принимается по традиционным методикам. Значение коэффициентов жесткости подрабатываемого основания определялись в соответствии с методикой приведенной выше. Разуплотнение основания в определенной мере компенсирует дополнительные воздействия на систему "подрабатываемое основание - фундамент - верхнее строение" от вынужденных перемещений фундаментов, но приводит к приращению осадок, что согласуется с теоретическими предположениями.

В четвертом разделе диссертации изложена инженерная методика расчета фундаментов повышенной несущей способности на подрабатываемом основании.

В соответствии с действующими нормативными и рекомендательными документами расчет ФНС производится по двум группам предельных состояний:

- по несущей способности;

- по деформациям.

При выполнении расчетов учитываются все факторы, влияющие на взаимодействие фундаментов повышенной несущей способности с грунтом основания: геометрические параметры фундамента, объем и форма уширения, физико-механические характеристики грунтов и их изменение в уплотненной зоне.

При проектировании ФНС для участков попадающих под влияние воздействия подземных горных выработок, необходимо учитывать изменение физико-механических характеристик грунтов по описанной ниже методике только в случае если процесс деформации земной поверхности протекает после окончания возведения фундаментов.

По несущей способности ФНС рассчитываются исходя из условия:

$$N < \Phi / k_n, \quad (11)$$

где N - вертикальная нагрузка на фундамент; Φ - наименьшая величина из несущей способности грунта основания или несущей способности тела фундамента, далее именуемая "несущей способностью фундамента"; k_n - коэффициент надежности.

Несущая способность бетонного уширения фундамента:

$$\Phi_1 = 2 R_{bt} B_n h_{уш} + \frac{B_n N}{2 \gamma_{уш}}, \quad (12)$$

где R_{bt} - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию; B_n - ширина нижней части фундамента; $h_{уш}$ - высота уширения; $\gamma_{уш}$ - радиус уширения.

Несущая способность уплотненного слоя:

$$\Phi_2 = m_r R_{упл} F_{уш} + h m_r \gamma_1 u_r, \quad (13)$$

где m_r - коэффициент условий работы уплотненного грунта; $R_{упл}$ - расчетное сопротивление уплотненного грунта, определяемое по формуле (19); $F_{уш}$ - площадь уширенной пяты фундамента; h - высота тела фундамента в грунте без уширения; m_r - коэффициент условий работы грунта по боковым поверхностям фундамента; u_r - периметр фундамента в средней части; γ_1 - расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности.

Несущая способность подстилающего слоя:

$$\Phi_3 = m_r^* R_{п} F_{упл} + h m_r^* \gamma_1 u_r, \quad (14)$$

где $R_{п}$ - расчетное сопротивление подстилающего слоя грунта на глубине $h + h_{уш} + h_{упл}$; m_r^* - коэффициент условий работы под-

стиснутого слоя грунта; $F_{упл}$ - площадь, через которую уплотненная вона передает нагрузку на подстилающий слой.

Предлагаемая методика расчета ФНС по деформациям представляется двумя подходами. Первый базируется на определении осадок по методу послойного суммирования. Эта методика применяется для расчетов ФНС при простом одноступенчатом нагружении. Применение второго подхода, основанного на использовании коэффициента жесткости нелинейно деформируемого основания, предпочтительно в случаях сложного нагружения ФНС.

Расчет производится исходя из условия:

$$S < S_u, \quad (15)$$

где S - расчетное перемещение; S_u - предельное значение перемещения.

Давление на основание, возникающее в следствии приложения к фундаменту внешних нагрузок, должно соответствовать неравенствам:

- на глубине $h + h_{уш}$

$$R_{уш}^{max} < 1,2 m_r R_{упл} \quad \text{и} \quad R_{уш}^{min} > 0$$

где крайние давления на уровне подошвы уширения:

$$R_{уш}^{max, min} = \frac{N + G - \alpha_r h m_r \gamma_1 - \Sigma M - 0,5 q B_{ср} (h + h_{уш})}{F_{уш}} + \frac{W_{уш}}{W_{уш}}, \quad (16)$$

- на глубине $h + h_{уш} + h_{упл}$

$$R_{упл}^{max} < 1,2 m_r R_{п} \quad \text{и} \quad R_{упл}^{min} > 0$$

где крайние давления на кровле подстилающего слоя:

$$R_{п}^{max, min} = \frac{N + G - \alpha_r h m_r \gamma_1 - \Sigma M - 0,5 q B_{ср} (h + h_{уш} + h_{упл})}{F_{упл}} + \frac{W_{упл}}{W_{упл}}, \quad (17)$$

где N, M - продольная сила и моментная нагрузка; G - вес фундамента; q - реакция по боковой поверхности фундамента; $B_{ср}$ - средняя ширина боковой поверхности фундамента; $W_{уш}$ - статический момент подошвы (горизонтальной проекции уширения).

Расчетное сопротивление подстилающего слоя:

$$R_{п} = M_y k_z B_{упл, z} \gamma_{II} + M_q (h + h_{уш} + h_{упл}) \gamma_{II} + M_q C_{II} \quad (18)$$

Расчетное сопротивление уплотненного грунта:

$$R_{\text{упл}} = 2 M_{\gamma} \gamma_{\text{уш}} \gamma_{\text{упл}} + M_q (h + h_{\text{уш}}) \gamma'_{II} + M_c C_{\text{упл}} \quad (19)$$

где M_{γ}, M_q, M_c - безразмерные коэффициенты; $\gamma'_{\text{упл}}, C_{\text{упл}}, \gamma_{\text{упл}}$ - характеристики уплотненного грунта; γ'_{II} - плотность грунта природной структуры; γ_{II} - осредненное значение удельного веса грунта, залегающего ниже уплотненной зоны; C_{II} - расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под уплотненной зоной.

Осадку фундамента повышенной несущей способности можно определить по методу послойного суммирования. Для определения угловых перемещений ФНС используются формулы (5,6). При этом необходимо учесть слои попавшие в зону уплотнения (с измененными характеристиками грунта), как дополнительные слои (формула (7)).

При воздействии на основание горизонтальных деформаций растяжения, вызванных подработкой, необходимо учитывать изменение значений модулей деформации грунтов по формуле (1). При этом для слоев грунта попавших в уплотненную зону определение модуля деформации производится в следующем порядке:

Определяется $E_{\text{упл}}$ исходя из значения E_0 (модуля деформации грунта с ненарушенной структурой);

Определяется $E_{\text{подр}}$ исходя из значения существующего модуля деформации $E_{\text{упл}}$.

В случаях сложного нагружения фундаментов повышенной несущей способности целесообразно применять методику определения перемещений, основанную на переменном коэффициенте жесткости. Перемещения в данном случае определяются по ниже приведенной схеме:

Определяется осадка S для многослойного основания по методу послойного суммирования. Учитывается изменение деформационных характеристик грунта, попадающего в зону уплотнения.

По найденной осадке и геометрическим параметрам ФНС определяется приведенный модуль деформации:

$$E_{\text{пр}} = \frac{P \sqrt{F_{\text{уш}}} (1 - \mu^2)}{S \omega_z} \quad (20)$$

где P - среднее давление на подошве уширения.

При воздействии на основание деформаций растяжения, вызванных подработкой, значение приведенного модуля деформации изменяется в

соответствии с зависимостью по формуле (1).

Определяются коэффициенты жесткости основания ФНЭС по формулам (2...4).

Если имеются значения осадки, углового перемещения и горизонтального смещения, определенные экспериментальным путем или по методике описанной выше, то значения коэффициентов жесткости можно определить по формулам:

$$C_z = N / (F_{\text{уш}} S) \quad (21)$$

$$C_{\varphi} = M / (I_{\text{уш}} \text{tg } \varphi) \quad (22)$$

$$C_x = Q / (F_{\text{уш}} \Delta), \quad (23)$$

где M, Q, N - нагрузки, действующие на фундамент (момент, поперечная и продольная силы соответственно); S, φ, Δ - перемещения фундамента (осадка, угловое и горизонтальное перемещения соответственно); $I_{\text{уш}}, F_{\text{уш}}$ - момент инерции и площадь подошвы уширения.

Значения коэффициентов жесткости основания при сложном нагружении определяется зависимостью:

$$C' = \frac{\Phi}{S P' (1 - P / \Phi) / (P (1 - P' / \Phi)) - (\Phi - P) / C}, \quad (24)$$

где Φ - несущая способность основания; P - среднее давление на грунт под подошвой уширения; S - осадка при давлении P ; P' - переменная величина давления, которая может изменяться в интервале от 0 до Φ .

Имея величины коэффициентов жесткости основания и геометрические параметры ФНЭС получаем зависимости для определения перемещений.

Реакция по подошве ФНЭС при вертикальном перемещении фундамента:

$$R_{\text{II}} = C_z^{\text{II}} F_{\text{уш}} Z = K_1 Z \quad (25)$$

При горизонтальном перемещении фундамента по боковой поверхности возникает реакция, интенсивность которой распределяется по глубине по закону треугольника. Равнодействующая этого давления:

$$R_x = X C_z^{\text{б}} h (B_{\text{в}} + 2 B_{\text{н}}) / 6 = K_2 X \quad (26)$$

Момент равнодействующей R_x относительно точки O (рис. 5) при горизонтальном перемещении X составляет:

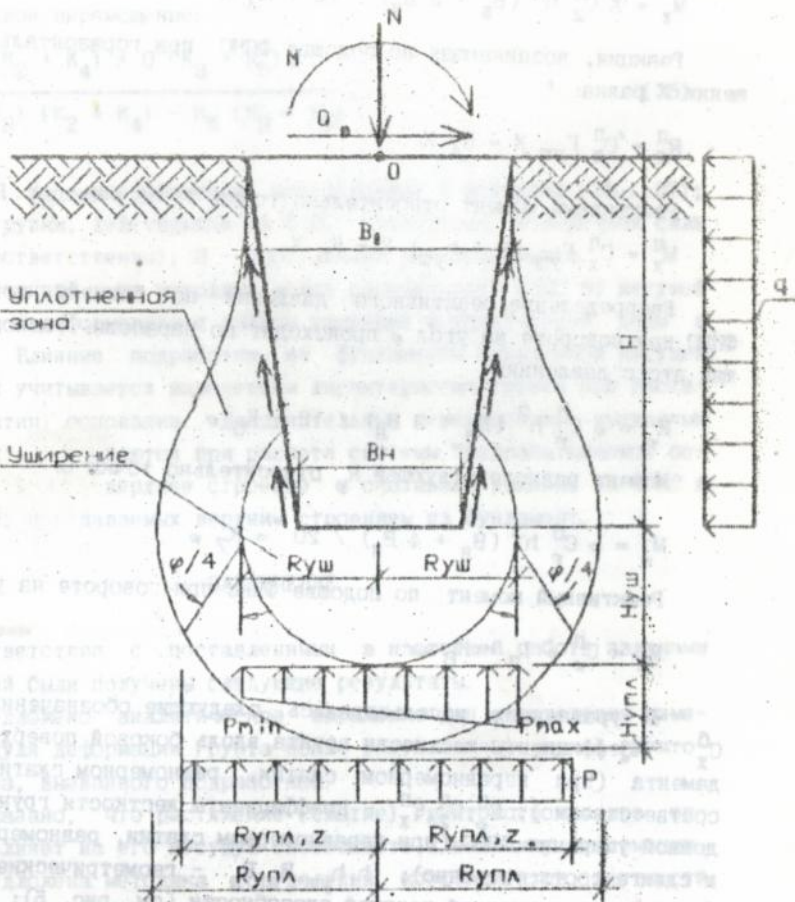


Рис. 5. Схема к расчету фундамента повышенной несущей способности.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

$$M_x = K C_z^0 h^2 (B_B + 3 B_H) / 12 = K_3 X \quad (27)$$

Реакция, возникающая по подошве ФЛНС при горизонтальном смещении X равна:

$$R_x^{\Pi} = C_x^{\Pi} F_{\text{уш}} X = K_4 X \quad (28)$$

Реактивный момент относительно точки O от реакции R_x^{Π} :

$$M_x^{\Pi} = C_x^{\Pi} F_{\text{уш}} (h + h_{\text{уш}}) X = K_5 X \quad (29)$$

Распределение реактивного давления по боковой поверхности ФЛНС при повороте на угол φ происходит по параболе. Равнодействующая этого давления:

$$R_{\varphi} = \varphi C_{\varphi}^0 h^2 (B_B + 3 B_H) / 12 = K_6 \varphi \quad (30)$$

Момент равнодействующей R_{φ} относительно точки O:

$$M_{\varphi} = \varphi C_{\varphi}^0 h^3 (B_B + 4 B_H) / 20 = K_7 \varphi \quad (31)$$

Реактивный момент по подошве ФЛНС при повороте на угол φ :

$$M_{\Pi} = C_{\varphi}^{\Pi} \varphi I_{\Pi} = K_8 \varphi \quad (32)$$

В уравнениях использовались следующие обозначения: C_x^0, C_z^0 - коэффициенты жесткости грунта вдоль боковой поверхности фундамента (при неравномерном сжатии, равномерном сжатии и сдвиге соответственно); $C_x^{\Pi}, C_z^{\Pi}, C_{\varphi}^{\Pi}$ - коэффициенты жесткости грунта под подошвой уширения ФЛНС (при неравномерном сжатии, равномерном сжатии и сдвиге соответственно); $h, h_{\text{уш}}, B_B, B_H$ - геометрические параметры фундамента повышенной несущей способности (см. рис. 5); $F_{\text{уш}}$ - площадь подошвы уширения ФЛНС; Z, X, φ - перемещения, соответственно вертикальное, горизонтальное и угловое.

Решением системы уравнений равновесия являются аналитические выражения для перемещений:

- вертикальное перемещение (осадка):

$$S = \frac{N + G}{C_z^{\Pi} F_{\text{уш}}} \quad (33)$$

- горизонтальное перемещение:

$$\Delta = \frac{K_6}{K_2 + K_4} \frac{M(K_2 + K_4) + Q(K_3 + K_5)}{(K_7 + K_8)(K_2 + K_4) - K_6(K_3 + K_5)} + \frac{Q}{K_2 + K_4} \quad (34)$$

- угловое перемещение:

$$\frac{M(K_2 + K_4) + Q(K_3 + K_5)}{(K_7 + K_8)(K_2 + K_4) - K_6(K_3 + K_5)} \quad (35)$$

где $K_1 \dots K_8$ - коэффициенты, определенные в формулах (25...32); I, Q, M - нагрузки, действующие на ФПС (продольная, поперечная сила и момент соответственно); G - собственный вес фундамента.

По описанной выше методике можно рассчитывать ФПС по несущей способности и деформациям с учетом уширения и уплотненной зоны в основании. Влияние подработки на фундаменты повышенной несущей способности учитывается изменением характеристик грунта при растяжении (сжатии) основания. Дополнительные перемещения, вызванные подработкой, учитываются при расчете системы "подрабатываемое основание - ФПС - верхнее строение" и оказывают влияние на ФПС в виде усилий, передаваемых верхним строением на фундамент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В соответствии с поставленными в настоящей работе задачами исследований были получены следующие результаты.

1. Предложено аналитическое выражение для определения измененного модуля деформации грунта после растяжения (сжатия) грунтового массива, вызванного подработкой.

2. Показано, что растяжение (сжатие) грунтового массива существенно влияет на его несущую способность и величину деформации.

3. Предложена методика определения коэффициентов жесткости подрабатываемого основания, испытывающего горизонтальные деформации растяжения (сжатия), которая дает удовлетворительные результаты при сравнении с данными экспериментальных исследований.

4. Испытаниями мелкомасштабных моделей фундаментов и фундаментов в натуральную величину апробирована технология возведения экструэно - трамбованных фундаментов. Полученные данные позволяют рекомендовать разработанную технологию возведения ФПС для применения в практике строительства.

5. Разработана уточненная методика расчета несущей способности и перемещений фундаментов повышенной несущей способности, учитывающая особенности работы данного класса фундаментов при подработке. Для определения перемещений и несущей способности фундаментов в ней используются характеристики основания, определяемые по выше перечисленным методикам.

6. Методика расчета ФПНС проверена экспериментально и получена удовлетворительная сходимость теоретических и экспериментальных данных.

7. Проведены исследования влияния учета разуплотнения основания в следствии горизонтальных деформаций, вызванных подработкой, на усилия, возникающие в системе "подрабатываемое основание - фундамент повышенной несущей способности - верхнее строение".

8. На основе натуральных экспериментальных исследований проверена эффективность использования совместно с ФПНС конструктивных мер защиты зданий и сооружений от влияния горных выработок.

9. Разработана инженерная методика расчета фундаментов повышенной несущей способности на подрабатываемом основании. Данная методика позволяет учитывать изменение характеристик основания:

- в уплотненной зоне;
- при горизонтальных деформациях грунтового массива, вызванных подработкой.

Основываясь на результатах выполненных исследований можно сделать следующие основные выводы.

А/ При горизонтальных деформациях растяжения (сжатия) грунта, вызванного подработкой, происходит изменение прочностных и деформационных характеристик грунта.

Б/ При оценке несущей способности и перемещений фундаментов, попадающих в зону деформаций земной поверхности от подработки после их возведения, необходимо учитывать изменение прочностных и деформационных характеристик грунта. При этом необходимо рассматривать наиболее невыгодный для эксплуатации данного здания вариант:

- горизонтальные деформации сжатия - уплотнение грунта;
- горизонтальные деформации растяжения - разуплотнение грунта.

В/ Численный анализ работы системы "подрабатываемое основание - фундамент повышенной несущей способности - верхнее строение" необходимо проводить с учетом нелинейной работы грунта основания и учитывая разуплотняющее (уплотняющее) действие на основание гори-

горизонтальных деформаций земной поверхности. Следует учитывать, что изменение характеристик грунта приводит к перераспределению усилий в верхнем строении.

Г/ При проектировании фундаментов повышенной несущей способности, для защиты конструкций верхнего строения от дополнительных воздействий при подработке, целесообразно применять конструктивные меры защиты, используемые для обычных типов фундаментов: связи - распорки, разделяющий шов скольжения, а также специальные меры, например, гибкие вертикальные связи.

Основные положения диссертационной работы
опубликованы в таких работах:

1. Боришполь К. Н. Исследование экструано - трамбованных фундаментов (ЭТФ) для особых и обычных условий строительства. / Тезисы докладов научно - технической конференции молодых специалистов "Совершенствование проектных решений промышленных зданий и сооружений на основе использования научно - технических достижений". - Днепропетровск: Ротапринт Приднепровского Промстройпроекта, 1990, с. 46 - 47.

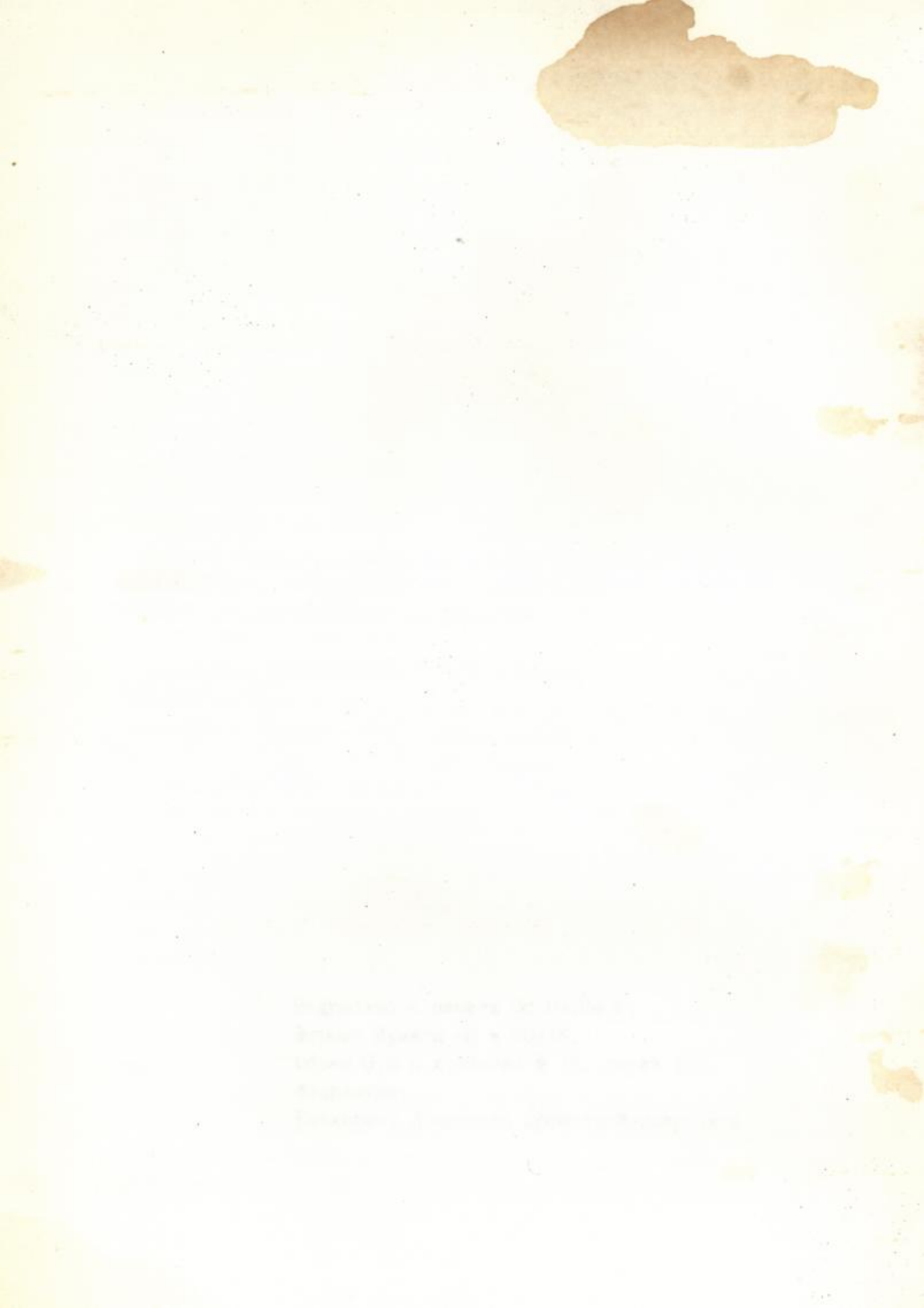
2. Боришполь К. Н., Петраков А. А. Использование экструано - трамбованных фундаментов (ЭТФ) при реконструкции и усилении зданий и сооружений. / Сб. "Опыт обследования, реконструкции и усиления зданий и сооружений". - К.: УкрИНТИ, 1992, с. 16 - 22.

3. Петраков А. А., Боришполь К. Н., Волынский В. В. Фундаменты в вытрамбованных котлованах на подрабатываемых территориях. / Будівництво України, №3 (Находится в печати).

4. Петраков А. А., Шаболтас А. М., Боришполь К. Н. Исследование коэффициентов жесткости основания с учетом влияния горизонтальных деформаций земной поверхности. / Тезисы докладов к Всесоюзному научно - техническому семинару. - Донецк: ЦЕНТИ Минуглепрома СССР, 1989, с. 17 - 19.

Подписано к печати 08.04.94 г.
Формат бумаги 60 x 90/16.
Объем 0,8 п.л. Заказ № 12, тираж 100,
бесплатно.
Ротапринт Донецкого Промстройиниипроякта





457372

AB 30.258