

10356

51 ✓
1720

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта

на правах рукописи

Б.А.Гарагаш

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКИ
НЕОДНОРОДНОГО СИЛЬНО СЖИМАЕМОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

(Диссертация на русском языке)

05.48I Основания, фундаменты и подземные сооружения



А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1972 г.

НТБ
ДНУЖТ

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта

на правах рукописи

Б.А.Гараган

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКИ
НЕОДНОРОДНОГО СИЛЬНО СЖИМАЕМОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

(Диссертация на русском языке)

05.48I Основания, фундаменты и подземные сооружения

4683a

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск

1972 г.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету з інженерного транспорту
імені академіка Ігоря Гіздяна

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Грозненском ордена Трудового Красного
Знамени нефтяном институте (экспериментальная часть) и Воронеж-
ском инженерно-строительном институте

Научные руководители - кандидат технических наук, доцент Р.С.Шеляпин
и кандидат технических наук, доцент А.П.Пшеничкин.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Е.Ф.Винокуров

Кандидат технических наук, доцент А.М.Аронов

Кандидат технических наук Л.М.Резников

Ведущая организация - "Чечинггражданпроект"

Автореферат разослан.....6 сентября.....1972 г.
Защита диссертации состоится...13 октября.....1972 г.
на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров
железнодорожного транспорта.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью
учреждения, просим направлять по адресу: г. Днепропетровск - 10,
Университетская 2. ДИИТ, Ученому секретарю Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук,
доцент

Л.Н.Лебединец

НТБ
ДНУЖТ

В В Е Д Е Н И Е

Характерной особенностью естественных грунтовых оснований является изменчивость их физико-механических свойств, обусловленная случайными причинами, действовавшими в период их формирования и дальнейшей истории. По величине эти статистические отклонения довольно значительны и изменяются в пространстве. А так как статистическую природу имеют и нагрузки, действующие в системе "здание-основание", и прочностные и деформационные характеристики материала конструкций и даже геометрические размеры, то детерминированный подход вызывает некоторую неопределенность при расчете зданий и сооружений и не совсем точно отражает характер процессов, протекающих в действительности. В связи с этим в диссертации рассмотрена статистическая модель системы "здание-основание", когда воздействия на конструкции, а также свойства самой системы рассматриваются как случайные величины и случайные функции.

Статистические характеристики грунтов получены в полевых условиях на территории массовой застройки с последующим использованием результатов для непосредственного расчета проектируемых зданий с учетом реальной неоднородности оснований. Разработана методика вероятностного расчета зданий на изгиб и кручение как коротких систем на податливом основании, произведена проверка основных теоретических положений на моделях зданий и в натуральных условиях. Проведена вероятностная оценка результатов расчета зданий и оснований по II предельному состоянию.

В диссертации 137 страниц текста, 58 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 139 наименований.

М О Д Е Л Ъ О С Н О В А Н И Я

Предельные и текущие характеристики деформируемости можно установить на основе расчета совместной работы сооружения и основания, для чего необходимо прежде всего выбрать модель основания. В качестве статистической модели неоднородного грунтового основания, подчиняющегося гипотезе местных деформаций, принимается поле искомым характеристик с разделением его на регулярную (крупномасштабную) и случайную составляющие. Под регулярной составляющей поля понимается изменение математического ожидания свойства грунта, например, коэффициента жесткости основания $\bar{C}(z, x)$, а случайная компонента $\tilde{C}(z, x)$ характеризует разброс данных относительно математического ожидания

$$C(z, x) = \bar{C}(z, x) + \tilde{C}(z, x) \tag{I}$$

Оценки параметров регулярной и случайной составляющих грунтового поля можно найти путем статистической обработки результатов комплекса полевых работ, например, штамповых испытаний, статического и динамического зондирования, пенетрационно-каротажных исследований и наблюдений за осадками возведенных и строящихся зданий. В диссертации изложены результаты такой обработки на примере организованно увлажняемых лессовых оснований. Исследования показали, что закон распределения физико-механических характеристик и деформационных свойств основания можно принять нормальным. Полученные корреляционные функции, дающие возможность определить период и стандарт случайной неоднородности, аппроксимировались выражениями

$$K(\xi) = D \exp(-\beta|\xi|) \cos \theta_{cl} \xi, \tag{2}$$

$$K(\xi) = D \exp(-\beta^2 \xi^2) \cos \theta_{cl} \xi, \tag{3}$$

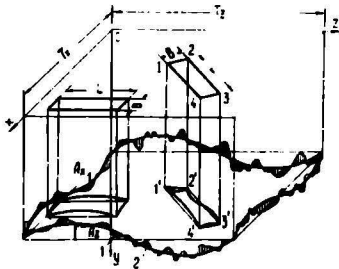
где D - дисперсия, а θ_{cl} - показатель периодичности.

Для оценки параметров случайной неоднородности основания

НТБ
ДНУЖТ

кроме корреляционных были использованы структурные функции, построение которых проще и надежнее, так как на них не влияют ошибки, возникающие при определении математического ожидания рассматриваемой реализации. Кроме того, корреляционные функции являются частным случаем структурных, что дает возможность пользоваться однотипным математическим аппаратом. Амплитуду и частоту регулярной составляющей грунтового поля можно найти, используя методику выявления скрытых периодичностей. В этом случае имеющаяся реализация подвергается обработке методами оптимальной статистической фильтрации с целью выявления главного сигнала (регулярной неоднородности) из общего спектра случайных помех, а применение корреляционного преобразования позволяет численно оценить период и амплитуду регулярной составляющей.

Изучение и использование статистических характеристик основания дает возможность назначать расчетную схему деформирования системы "здание-основание" с учетом реальной неоднородности грунтовых условий. Согласно этих положений, расчетная схема де-



формирования грунтового основания принимается аддитивной: детерминированной относительно регулярной компоненты и случайной относительно флуктуационной (рис. I). Тогда прогиб или выгиб, крен и кручение коробки здания возникает в основ-

ном от влияния регулярной составляющей с флуктуациями отдельных точек, вызванных случайной компонентой.

В Е Р О Я Т Н О С Т Н Ы Й Р А С Ч Е Т З Д А Н И Й

вероятностный расчет зданий и сооружений на неравномерно деформируемых основаниях включает в себя нахождение математичес-

ИТЬ
ДНУЖТ

ких ожиданий деформационных и силовых факторов и их дисперсий. Считая изгибные и крутильные деформации некоррелированными и используя принцип суперпозиции, расчет зданий на изгиб и кручение производится раздельно.

Большая роль в деле развития статистических методов расчета конструкций принадлежит Н.С.Стрелецкому. В последнее время особенно плодотворно это направление нашло отражение в исследованиях А.Р.Ржаницына и В.В.Болотина. Применительно к грунтовым основаниям известны работы М.Н.Гольдштейна. Как показано В.В.Болотиным, недостатком значительного числа работ по статистическому обоснованию коэффициента запаса является то, что они основаны на классической теории вероятностей (теории случайных событий). Между тем внешние воздействия представляют собой стационарные или нестационарные случайные процессы, поэтому поведение системы при этих воздействиях, включая накопление повреждений в системе, также представляет собой случайный процесс. Следовательно, проводить вероятностный расчет зданий и сооружений на неоднородных основаниях (свойства которых имеют статистический характер) необходимо на основе корреляционной теории случайных функций.

В литературе в последнее время приведены исследования В.В.Болотина, Л.В.Поповой, В.Л.Благонадежина и В.Н.Москаленко, Ю.Н.Новичкова и А.В.Новожилова и др. по вероятностному расчету бесконечно длинных систем на податливом основании. В области конструкций конечных размеров таких работ гораздо меньше, и к ним прежде всего надо отнести исследования Д.Н.Соболева, В.П.Игнатова и С.А.Вершинина, А.П.Пшеничкина. В излагаемой диссертации приводится вероятностный расчет на изгиб и кручение кирпичных и крупноблочных зданий конечной длины с жесткой конструктивной схемой с частым расположением поперечных стен, когда поверхность жестких параметров основания является случайным полем, стационарным относительно переменного математического ожидания.

НТБ
ДНУЖТ

По расчету зданий на неоднородном грунтовом основании с использованием различных гипотез при определении жесткостных характеристик сооружения хорошо известны исследования П.П.Шагина, Б.А. Косицына, В.И.Литака и др. В данной работе при расчете на изгиб здание рассматривается как составной стержень, лежащий на податливом основании с переменным коэффициентом жесткости $C(z)$. Напряженное состояние такого стержня, согласно П.Ф.Плешкову, описывается одним дифференциальным уравнением четвертого порядка, но с усложненной структурой

$$Ez y''''(z) - R[EJ y''(z) + M(z)] + C(z)y(z) - q = 0, \quad R = \frac{4G_{ш}}{EF_{пр}} \quad (4)$$

Величина внешнего момента $M(z)$ находится из решения дифференциального уравнения изгиба балки на податливом основании без учета сдвиговых деформаций. Изменение симметричной части коэффициента жесткости основания принято в виде

$$C(z) = C_0 + A \Psi(z) + \tilde{C}(z), \quad (5)$$

где $\Psi(z)$ – функция, аппроксимирующая регулярную составляющую;
 A – ее амплитуда.

Исследования показали, что изменения регулярной составляющей коэффициента жесткости основания можно описать гармоническими функциями, поэтому при аппроксимации принималось $\Psi(z) = \cos \frac{2\pi z}{L}$. Решение уравнения (4) методом малого параметра наряду с перемещением здания как жесткого штампа дает выражение для определения изгибных деформаций составного стержня

$$Y''''(\xi) - R_d L^4 Y''(\xi) + \delta \lambda^4 Y(\xi) = G_1 \bar{M}(\xi) - G_2 A \Psi(\xi) + G_1 \tilde{M}(\xi) - G_2 \tilde{C}(\xi), \quad (6)$$

где $\lambda = J/z$, $\delta = C_0/EJ$, $G_1 = R_d L^2/EJ$, $G_2 = S_0 d L^4/EJ$

Правая часть уравнения (6) представляет собой случайную функцию. Математические ожидания прогибов и изгибающих моментов в составном стержне находятся из детерминированной части уравнения (6). Путем решения (6) вариационным методом Бубнова–Галеркина и использова-

ния фундаментальных функций поперечных колебаний, были получены выражения для прогибов $Y^{coc}(\xi)$, изгибающих моментов $M_1(\xi)$ и дополнительных изгибающих моментов $M_j(\xi)$ в любой j -й ветви составного стержня

$$Y^{coc}(\xi) = \frac{mq}{EJ} \sum_n \frac{1}{H_n} F_n \chi_n(\xi), \quad H_n = 1 - \frac{\lambda_n^4 (d-1)}{d(\lambda_n^4 + R\lambda_n^2 + \delta)}, \quad (7)$$

$$M_1(\xi) = -mq \sum_n \lambda_n^2 F_n \frac{d}{d-1} \left(1 - \frac{1}{H_n d}\right) \chi_n''(\xi), \quad F_n = A_{2n}^{чет} / (\lambda_n^4 + \delta), \quad (8)$$

$$\frac{M_j(\xi)}{I_j} = mq \sum_n \lambda_n^2 F_n \frac{d}{d-1} \left(1 - \frac{1}{H_n}\right) \frac{1}{J} \chi_n''(\xi), \quad \lambda_n = \mu_n / L, \quad (9)$$

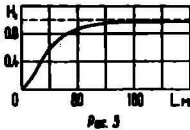
где $A_{2n}^{чет}$ - коэффициенты разложения четной функции $\psi(\xi)$ в ряд по фундаментальным функциям $\chi_n(\xi)$; μ_n - корни фундаментальных функций; $m = A / C_0$ - амплитудный коэффициент регулярной неоднородности основания; I_j - момент инерции j -й ветви.

Для сравнения приведены значения прогиба и изгибающих моментов в стержнях цельного сечения

$$Y^4(\xi) = \frac{mq}{EJ} \sum_n F_n \chi_n(\xi), \quad (10)$$

$$M_1(\xi) = -mq \sum_n \lambda_n^2 F_n \chi_n''(\xi). \quad (11)$$

Анализ формул (7) и (10) показывает, что выражение для прогибов составных стержней отличается от решения для балки цельного сечения коэффициентом снижения изгибной жесткости стержня за счет



сдвигов H_n . Для наглядности на рис.3 приведен график зависимости H_1 от длины задания L

Видно, что коэффициент H_1 асимптотически стремится к единице, т.е. с возрастанием длины L влияние сдвигов, проявляющееся в увеличении прогибов, уменьшается. Зная величины $M_1(\xi)$ и $M_j(\xi)$, можно вычислить математические ожидания нормальных напряжений при изгибе в ветвях составного стержня.

Для нахождения дисперсий искомых параметров использовался метод канонических разложений случайных функций, разработанный В.С.Пугачевым и предложенный для расчета коротких систем Д.Н.Со-

НТБ
ДНУЖТ

белевым. Каноническое представление стационарной случайной функции коэффициента жесткости основания записывается в виде

$$\tilde{C}(z) = \sum_k R_k X_k(z), \quad (12)$$

где $X_k(z)$ - координатные функции этого разложения.

Так как каноническое разложение четной корреляционной функции "входа" можно представить в виде разложения в действительный ряд Фурье на участке $(-L; L)$, выражение (12) перепишется в виде

$$\tilde{C}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} (u_k \cos \omega_k z + v_k \sin \omega_k z), \quad (13)$$

где u_k и v_k - некоррелированные случайные величины с математическими ожиданиями, равными нулю, и дисперсиями, одинаковыми для каждой пары случайных величин с одним и тем же индексом k . Тогда k -я часть случайного прогиба стержня цельного сечения найдется из выражения

$$\tilde{y}_k''(\xi) + \delta L^4 \tilde{y}_k(\xi) = \delta L^4 (u_k \cos k \pi \xi + v_k \sin k \pi \xi), \quad \delta = \frac{S_0}{EJ} \quad (14)$$

Решение этого уравнения произведено вариационным методом Бубнова-Галеркина с использованием функций $\chi_n(\xi)$. Учитывая свойство ортогональности $\chi_n(\xi)$, выражения для корреляционных функций и дисперсий прогиба стержня цельного сечения представим в виде

$$K_y^k(\xi_1, \xi_2) = \delta^2 \bar{\sigma}_\xi^2 \sum_k d_k^n \left[\sum_n P_{kn}^{чет} \chi_n(\xi_1) \cdot \sum_n P_{kn}^{чет} \chi_n(\xi_2) + \sum_n P_{kn}^{нечет} \chi_n(\xi_1) \cdot \sum_n P_{kn}^{нечет} \chi_n(\xi_2) \right], \quad (15)$$

$$D_y^k(\xi) = \delta^2 \bar{\sigma}_\xi^2 \sum_k d_k^n \left\{ \left[\sum_n P_{kn}^{чет} \chi_n(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n P_{kn}^{нечет} \chi_n(\xi) \right]^2 \right\}, \quad P_{kn} = A_{kn} / (\lambda_n^4 + \delta), \quad (16)$$

где $\bar{\sigma}_\xi$ - стандарт случайной неоднородности коэффициента жесткости основания; d_k^n - коэффициенты разложения нормированной корреляционной функции "входа".

Корреляционную функцию и дисперсию прогиба составного стержня можно найти, применив каноническое разложение к случайной правой части уравнения (6). Свойство ортогональности и квазиортогональности фундаментальных функций Релея позволяют также получить простые выражения для дисперсий изгибающих моментов в стержнях цельного се-

чения $M_{II}(\xi)$ и в составном стержне $M_I(\xi)$ и $D \frac{m_j(\xi)}{l_j}$

$$D Y^{cos}(\xi) = G_2^2 G_2^2 \sum_K d_K^2 \left\{ \left[\sum_n \lambda_n^{CHET} E_n \chi_n(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n \lambda_n^{MEN} E_n \chi_n(\xi) \right]^2 \right\}, \quad E_n = \frac{1}{q_n} \left(\frac{R \lambda_n^2 \Phi_n^1}{\lambda_n^2 + \delta} - 1 \right), \quad (I7)$$

$$D M_{II}(\xi) = S_0^2 G_2^2 \sum_K d_K^2 \left\{ \left[\sum_n \lambda_n^2 P_{II}^{CHET} \chi_n^2(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n \lambda_n^2 P_{II}^{MEN} \chi_n^2(\xi) \right]^2 \right\}, \quad q_n = m_n^4 - R \lambda_n^2 m_n^2 \Phi_n^1 + \delta \lambda_n^4, \quad (I8)$$

$$D M_I(\xi) = \frac{S_0^2 d^2 G_2^2}{(d-1)^2} \sum_K d_K^2 \left\{ \left[\sum_n \lambda_n^2 A_{II}^{CHET} B_n \chi_n^2(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n \lambda_n^2 A_{II}^{MEN} B_n \chi_n^2(\xi) \right]^2 \right\}, \quad B_n = \frac{1}{\lambda_n^2 + \delta} + L^d E_n, \quad (I9)$$

$$D \frac{m_j(\xi)}{l_j} = \frac{S_0^2 d^2 G_2^2}{(d-1)^2} \sum_K d_K^2 \left\{ \left[\sum_n \lambda_n^2 A_{II}^{CHET} B_n^1 \chi_n^2(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n \lambda_n^2 A_{II}^{MEN} B_n^1 \chi_n^2(\xi) \right]^2 \right\}, \quad B_n^1 = \frac{1}{\lambda_n^2 + \delta} + L^d E_n, \quad (20)$$

где $\Phi_n^1 = \int_0^1 \chi_n(\xi) \chi_n^2(\xi) d\xi$.

По изложенной методике на ЭВМ БЭСМ-4 был произведен расчет 12 типов зданий средней этажности серии Им-438-Ас, строящихся на территории ЧИАССР с районной сейсмичностью 7 баллов. При расчете варьировались жесткостные характеристики составного стержня λ и R , длина здания L , средняя осадка S_0 . Изменение жесткостных характеристик достигалось за счет различной глубины заложения фундамента при неизменной надфундаментной конструкции, т.е. рассматривались случаи, наиболее часто встречающиеся в проектной практике при привязке типовых проектов. Для примера на рис.4 приведены графики зависимостей математических ожиданий и дисперсий относительного прогиба и максимальных изгибающих моментов от длины здания. Видно, что относительный прогиб составного стержня в пределах практически встречающихся длин зданий, не разрезанных температурным швом, больше, чем относительный прогиб стержня цельного сечения. При всех длинах здания $M_I < M_{II}$.

В отличие от математических ожиданий, характер изменения дисперсий $D \frac{f}{L}$ от длины здания, подсчитанных при средних параметрах неоднородности грунта, для цельных и составных стержней различен. Уменьшение дисперсий $D \frac{f^{cos}}{L}$ с увеличением длины можно объяснить тем, что в коротких зданиях в общем прогибе доля сдвиговых деформаций больше, чем в длинных. С возрастанием L роль сдвигов

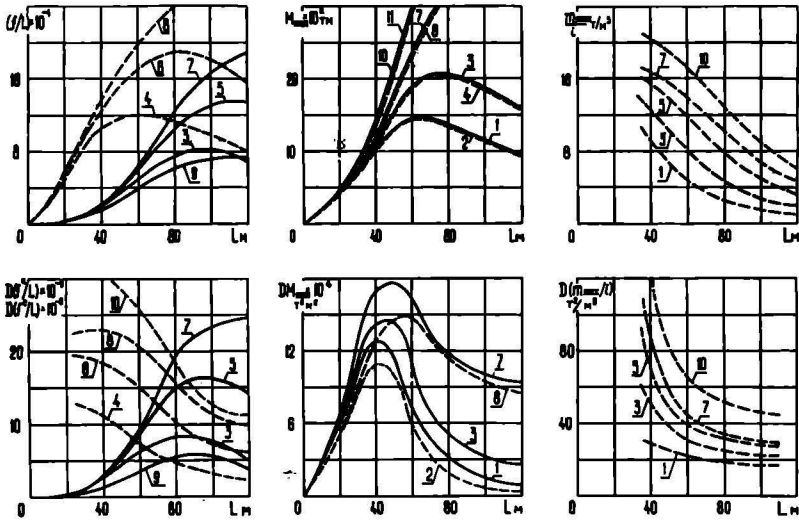


Рис. 4 1,2-S=0.2м, 3,4,9-S=0.2м, 5,6-S=0.4м, 7,8,10,11-S=0.6м; 1+6-4 этажей, 9+11-5 этажей;

— стержни цельного сечения, --- составные стержни; $\alpha=0.2\text{ м}^{-1}$, $\beta=0.02\text{ м}^{-1}$

уменьшается, и при достаточно больших длинах разница в дисперсиях $\frac{\delta_{\text{max}}}{L}$ и $\frac{M}{L}$ становится менее заметной. В диапазоне же длин до 120 м дисперсия прогибов составных стержней на порядок выше дисперсии прогибов стержней цельного сечения. Для дисперсий максимальных изгибающих моментов зависимость от длины здания такая же, как у математических ожиданий.

Интересно проследить зависимость выходных параметров от величины коэффициента R , характеризующего сдвиговую жесткость составного стержня (рис.5). Увеличение сдвиговой жесткости выз-

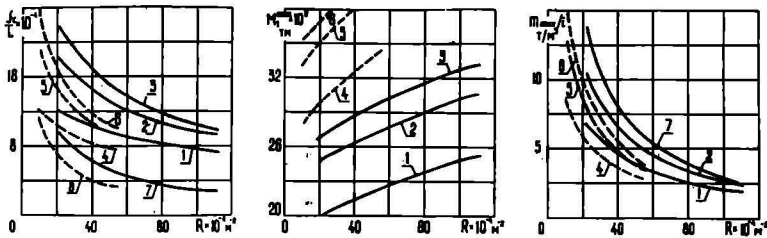


Рис. 5 1,4,7,8-S=0.2м, 2,5-S=0.4м, 3,6-S=0.6м; 1+6-L=67.2м, 7,8-L=35.2м; — 4 этажей, --- 5 этажей

НТБ
ДНУЖТ

вает рост момента M_1 и уменьшение относительного прогиба и момента в ветвях. С увеличением этажности момент в ветвях уменьшается, потому что с ростом числа этажей сумма моментов инерции ветвей меняется в прямой пропорциональной зависимости, а J - в кубической.

Характерно влияние параметров случайной неоднородности на

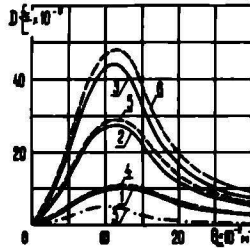
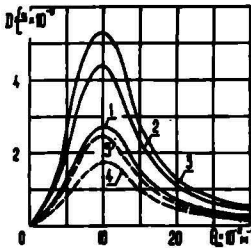


Рис. 6 $l=612\text{ м}, \beta=0,22\text{ м}^{-1}; 1,4-S_0=0,2\text{ м}, 2,5-S_0=0,4\text{ м}, 3,6-S_0=0,6\text{ м};$
 — 4 этажа, --- 5 этажей, - - - средним сечением.

величину дисперсий.

Из рис. 6 видно, что система "здание-основание" обладает избирательной способностью к случайной неоднородности грунтового массива. Максимальные значения дисперсий относительного прогиба получаются при совпадении частот θ системы и $\tilde{C}(z)$.

Изменения же другого параметра случайной неоднородности β не столь существенно сказывается на величине дисперсий (рис. 7). Приведенный в диссертации анализ зависимости дисперсий изгибающих моментов от β и $\theta_{сл}$ показывает, что их воздействие на величину дисперсий DM и $D\frac{f}{L}$ более упорядоченно, чем для дисперсий моментов в ветвях.

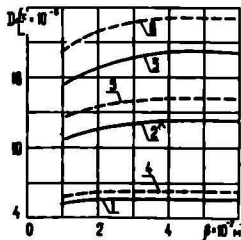
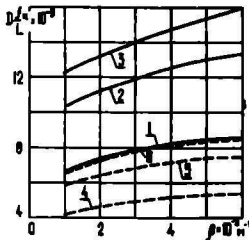
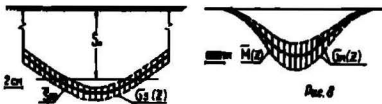


Рис. 7 $l=612\text{ м}, \beta=0,22\text{ м}^{-1}; 1,4-S_0=0,2\text{ м}, 2,5-S_0=0,4\text{ м}, 3,6-S_0=0,6\text{ м};$
 — 4 этажа, --- 5 этажей

Влияние полученных дисперсий на расчетные перемещения и усилия в здании показано на рис. 8, где при средних грунтовых условиях и коэффициенте доверительной вероятности $\gamma = 1$ приведены графики изменения по длине здания математических ожиданий и дис-

персий. Влияние полученных дисперсий на расчетные перемещения и усилия в здании показано на рис. 8, где при средних грунтовых условиях и коэффициенте доверительной вероятности $\gamma = 1$ приведены графики изменения по длине здания математических ожиданий и дис-

НТБ
ДНУЖТ



персий прогиба и изгибающего момента. Из рис.8 видно, что в силу изменчивости входных параметров

расчетные изгибающие моменты и прогибы здания могут сильно изменяться (коэффициент вариации прогиба равен 0,14, а изгибающего момента 0,25), Уровень этой изменчивости зависит от величины коэффициента доверительной вероятности γ , назначаемого в зависимости от требуемой надежности расчета.

При расчете на кручение частое расположение поперечных стен зданий позволяет считать контур поперечного сечения недеформируемым. Дифференциальное уравнение кручения имеет вид

$$EJ_{\omega} \theta''(z) - Q B q_2^2(z) + B q_2(z) = 0, \quad Q = EJ_{\omega} / GJ_{кр}, \quad (21)$$

где B - полуширина здания.

Нагрузка $q_2(z)$, вызывающая кручение коробки здания от положения равновесия определится по формуле

$$q_2(z) = C_0 B [\theta(z) - \varphi(z)], \quad (22)$$

где $\varphi(z)$ - потенциально возможный угол поворота основания без учета жесткости здания, а $\theta(z)$ - проявляющийся вследствие конкретной жесткости сооружения угол закручивания.

Закон изменения $\varphi(z)$ по длине здания назначается в результате аппроксимации данных комплекса инженерно-геологических изысканий площадки строительства.

Кососимметричная часть деформирования основания, как составная часть случайного поля, также обладает случайной изменчивостью

$$\varphi(z) = \bar{\varphi}(z) + \tilde{\varphi}(z), \quad (23)$$

где $\bar{\varphi}(z)$ - математическое ожидание кососимметричной деформации основания, а $\tilde{\varphi}(z)$ - случайные отклонения от него. Тогда выражение (21) примет вид

$$\theta''(z) - K_2 \theta'(z) + K_1 \theta(z) = K_1 \bar{\varphi}(z) - K_2 \bar{\varphi}'(z) + K_1 \tilde{\varphi}(z) - K_2 \tilde{\varphi}'(z), \quad (24)$$

НТБ
ДНУЖТ

где $\kappa_1 = C_0 B^2 / EJ\omega$, $\kappa_2 = C_0 B^2 / GJ_{кр}$.

Принимая в качестве аппроксимирующей фундаментальную функцию $\chi_i(\xi)$, хорошо согласующуюся с видом деформирования коробки, и решая детерминированную часть уравнения (24), запишем выражения для математических ожиданий углов закручивания, относительной деформации и бимоента по длине здания

$$\theta(\xi) = \Phi \chi_i(\xi), \quad (25)$$

$$\theta'(\xi) = \Phi \lambda_i \chi_i'(\xi), \quad \Phi = \frac{A_{2n}^{нст} B q m n (1 + Q 4 \pi^2 / L^2)}{EJ\omega (\lambda_i^4 + \kappa_1 \lambda_i^2 + \kappa_2)}, \quad (26)$$

$$B(\xi) = -EJ\omega \Phi \lambda_i^2 \chi_i''(\xi), \quad (27)$$

где n - амплитудный коэффициент регулярной составляющей в поперечном направлении.

Пользуясь выражениями (25) - (27), можно выявить картину напряженно-деформированного состояния сооружения при кручении. Нормальные секториальные напряжения в сечениях здания по проемам определяются по формуле

$$\sigma_\omega(\xi) = B(\xi) \omega / J\omega, \quad (28)$$

где ω - секториальная координата рассматриваемого волокна.

Для нахождения дисперсий искомых характеристик при кручении случайная правая часть уравнения (24) была представлена в виде канонического разложения. в результате решения уравнения получено

$$DB(\xi) = N^2 \sum_k^m d_k^m \left\{ \left[\sum_n A_{kn}^{нст} \psi_n \chi_n(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n A_{kn}^{нст} \psi_n \lambda_n \chi_n'(\xi) \right]^2 \right\}, \quad N = B q m n / EJ\omega, \quad (29)$$

$$D\theta'(\xi) = N^2 \sum_k^m d_k^m \left\{ \left[\sum_n A_{kn}^{нст} \psi_n \lambda_n \chi_n'(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n A_{kn}^{нст} \psi_n \lambda_n \chi_n''(\xi) \right]^2 \right\}, \quad (30)$$

$$DB(\xi) = N^2 (EJ\omega)^2 \sum_k^m d_k^m \left\{ \left[\sum_n A_{kn}^{нст} \psi_n \lambda_n^2 \chi_n''(\xi) \right]^2 + \left[\sum_n A_{kn}^{нст} \psi_n \lambda_n^2 \chi_n'''(\xi) \right]^2 \right\} \quad (31)$$

По приведенным выражениям математических ожиданий и дисперсий был произведен расчет тех же зданий, что и при изгибе. детальный качественный и количественный анализ этих зависимостей еще раз указал на недостатки детерминистского подхода к решению задачи и

НТБ
ДНУЖТ

подтвердил необходимость перехода к вероятностному расчету зданий и сооружений.

Выше было указано, что случайную природу имеет не только коэффициент жесткости основания, но и нагрузка, и жесткостные и прочностные характеристики сооружения, что необходимо учитывать при вероятностном расчете системы "здание-основание". Из-за отсутствия конкретных данных о статистической изменчивости этих параметров в диссертации на примере прогиба составного стержня рассмотрены пути вычисления дисперсии $\Delta y^{\text{ср}}$, считая выходные параметры случайными величинами и используя метод линеаризации функций. Этот способ позволяет получить приближенную оценку искомых параметров и может быть использован для предварительных расчетов системы.

При пространственной работе коробки здания на напряженно-деформированное состояние продольных несущих стен существенное влияние оказывают поперечные стены. В диссертации решение этой задачи произведено методом начальных параметров и вариационным способом. Показано, что учет дополнительных напряжений в несущих конструкциях зданий от действия поперечных стен может существенно изменить картину напряженного состояния рассчитываемых элементов, а принцип суперпозиции позволяет производить расчет на кручение без учета поперечных стен с последующей поправкой от их действия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА НА МОДЕЛЯХ И В НАТУРЕ

Для проверки основных положений по выбору расчетной схемы, для выявления качественной картины распределения напряжений в стенах здания, ослабленных оконными и дверными проемами, и для оценки влияния перекрытий на напряженно-деформированное состояние коробки были произведены лабораторные испытания двух моделей зданий: с перекрытиями и без них. На модели из оргстекла было наклеено соответственно 699 и 899 проволочных тензорезисторов с базой 10 - 20

НТБ
ДНУЖТ

мм и сопротивлением 100-200 ом. Габаритные размеры моделей составили 1020 x 400 x 450 мм. Тензорезисторы располагались по сечениям с проемами, по простенкам, по поперечным внутренним и торцовым стенам и в плоскости перекрытий. Контроль напряжений осуществлялся с помощью электронного измерителя деформаций АИ-1.

Испытания проводились при кратковременном статическом нагружении и при стабильном тепловом режиме на специальной установке, позволяющей создавать при помощи рычажной системы распределенную на модель нагрузку любой величины и моделировать переменные в плане осадки основания. Конструкция установки позволяла одновременно с напряжениями фиксировать совместные деформации модели и основания при помощи индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм. Замеры производились при нагрузках, соответствующих работе материала в упругой стадии.

Модели с перекрытиями и без них испытывались на изгиб, кручение и изгиб с кручением. Для каждого вида деформирования системы "здание-основание" был осуществлен 4-кратный замер напряжений. Испытания показали, что полученные экспериментально нормальные напряжения по проемам при изгибе значительно отличаются от вычисленных теоретически с использованием гипотезы плоских сечений за счет деформации сечений от сдвигов простенков. На характер распределения нормальных напряжений в сечениях продольных стен существенно влияют примыкающие внутренние поперечные стены и перекрытия. Картины напряженного состояния в поперечных стенах показывают, что наиболее сильно включаются в работу при изгибе торцовые стены, где деформации сечения наибольшие. Было выявлено, что перекрытия, сильно увеличивая изгибную и крутильную жесткости, оказывают значительное влияние на напряженно-деформированное состояние коробки. Так значения нормальных напряжений в продольных стенах моделей с перекрытиями отличались в 1,5 - 2,0 раза по сравнению с моделями без перекрытий. Значения нормальных напряжений в продольных стенах, полу-

ченные от кручения, практически полностью совпали с выделенными напряжениями из испытаний моделей на изгиб с кручением.

Испытания подтвердили принятое в работе положение, что при статических расчетах продольные стены здания можно рассматривать как составные стержни. Характерно, что полученные экспериментально значения нормальных напряжений в продольных стенах при изгибе, кручении и изгибе с кручением лежат, как правило, в одном σ -доверительном интервале.

Для проверки некоторых выводов, полученных при обработке данных инженерно-геологических изысканий и при испытаниях малых моделей, было проведено выявление качественной картины деформирования наружных стен в натуральных условиях при неравномерной осадке основания. С этой целью в стенах опытного 70-кв. жилого дома, возведенного на лессовом основании, с помощью кондукторов было установлено 868 настенных марок. Просадочные свойства основания ликвидировались методом организованного увлажнения. Во время производства увлажнения основания с помощью переносных компараторов производились замеры перемещений соседних марок. Всего было сделано 6 циклов с 4-кратным повторением измерений. Характерные эпюры горизонтальных смещений марок полностью подтвердили запрогнозированную в результате инженерно-геологических изысканий схему деформирования системы "здание-основание" и характер работы продольных стен.

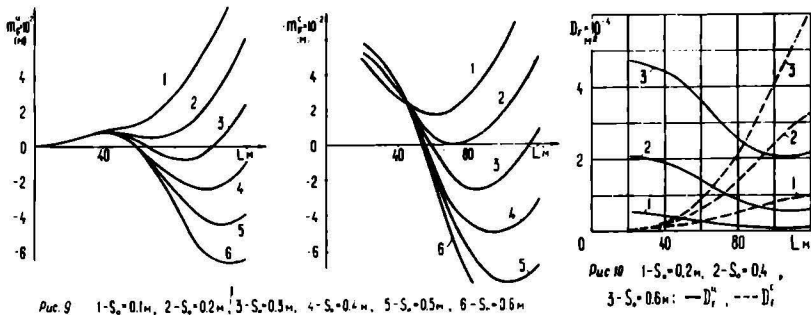
О ВЕРОЯТНОСТНОМ РАСЧЕТЕ СИСТЕМЫ "ЗДАНИЕ - ОСНОВАНИЕ" ПО П П РЕДЕЛЬНО- МУ СОСТОЯНИЮ

Полученные в диссертации на основе корреляционной теории случайных функций выражения для математических ожиданий и дисперсий выходных параметров можно непосредственно использовать при расчете системы "здание-основание" по П предельному состоянию. Кроме этого, рассмотрена еще одна возможность вероятностного рас-

НТБ
ДНУЖТ

чета, основанная на методе линейризации случайных функций.

При расчете системы "здание-основание" по II предельному состоянию необходимо не допускать превышения текущими величинами осадок, прогибов или напряжений предельных. Согласно существующим нормам, значения этих величин определяются без учета флуктуаций, вызываемых статистической природой исходных факторов. В вероятностной же постановке выполнение этого условия требует вычисления вероятности $P(F) = P(f_{np} - f) > 0$ или $P(F) = P(S_{np} - S) > 0$. Другими словами, надо вычислить отказ системы $V(F) = \int_{-\infty}^{\infty} p_F dF$, учитывая статистические свойства как текущих, так и предельных значений деформаций и напряжений. При изгибе составных стержней и стержней цельного сечения были получены выражения для математических ожиданий и дисперсий функции F на пределе трещинообразования материала стен. Для примера на рис. 9 и 10 в случае выгиба приведены

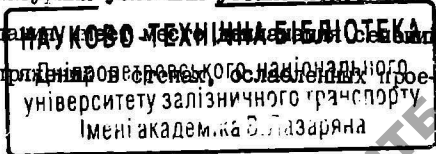


графики математических ожиданий m_F и дисперсий D_F в зависимости от длины здания L . Характерно, что при малых осадках $m_F > 0$, а при больших кривые переходят в отрицательную область, т.е. заведомо наступает отказ системы. Интересны графики $D_F = f(L)$. Уменьшение D_F^u и увеличение D_F^c с возрастанием L хорошо согласуются с зависимостями Df^{ecc} и Df^u от длины здания. Иными словами, качественный характер выражений для дисперсий, полученных методом линейризации случайных функций и с использованием канонических разложений, не противоречат друг другу.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В силу статистических свойств грунтов основания, прочностных и деформационных характеристик сооружения и действующих нагрузок систему "здание-основание" надо рассчитывать вероятностными методами.
2. Для выявления закономерностей, характеризующих структуру неоднородности основания, использован математический аппарат теории случайных функций. Такой подход справедлив для грунтов с применением различных моделей, описывающих их распределительные свойства.
3. Многочисленные наблюдения за большим количеством объектов показали, что основными видами деформирования системы "здание-основание" являются изгиб и кручение в различных сочетаниях. При расчете кирпичных и крупноблочных зданий на изгиб продольные стены нужно рассматривать, как составные стержни. При расчете зданий на кручение необходимо учитывать влияние поперечных стен на напряженное состояние всей коробки. Этот учет можно производить как методом начальных параметров, так и вариационным способом, причем в последнем случае расчет достаточно прост и быстро ведет к цели.
4. При нахождении дисперсий перемещений и усилий в зданиях конечной длины применен метод канонических разложений случайных функций. Выявлено, что система "здание-основание" обладает избирательной способностью к случайной неоднородности грунтового массива. Для предварительных инженерных расчетов при случайных изменениях всех исходных параметров можно применить метод линеаризации функций.
5. Из испытаний моделей и в натуральных условиях установлено, что при деформациях коробки здания метод начальных параметров. Характер распределения напряжений в стенах, ослабленных проемами.

46832



НТУ
ДНУЖТ

мами, подтверждает принятое в работе положение, что при статических расчетах продольные стены нужно рассматривать как составные стержни. Показано, что учет влияния поперечных стен на напряженное состояние здания можно производить вариационным способом.

7. При вероятностном расчете системы "здание-основание" по II предельному состоянию показано, что выражения для дисперсий, полученные методом линеаризации случайной функции и с использованием канонических разложений, качественно не противоречат друг другу.
8. Выполненные исследования позволили более обоснованно разработать методику расчета сооружений. Использование теоретических положений на практике приводит к перераспределению материалов в сечении, что дало возможность повысить надежность сооружений и получить значительный экономический эффект.

Основное содержание работы опубликовано автором в следующих статьях:

1. А.П.Пшеничкин, Я.Д.Лялин, Б.А.Гарагаш. Исследование неоднородности лессовых оснований в полевых условиях. В сб. "Полевые методы исследования грунтов", М., 1969.
2. А.П.Пшеничкин, Я.Д.Лялин, Б.А.Гарагаш. О жесткостных характеристиках статистически неоднородных лессовых оснований. В сб. "Вопросы механики грунтов и строительства зданий на лессовых основаниях", Чечено-Ингушское книжное издательство, Грозный, 1970.
3. А.П.Пшеничкин, Я.Д.Лялин, Б.А.Гарагаш. Исследование неоднородности лессовых оснований по результатам опытных полевых работ. Материалы XXV н.-т. конференции ВИСИ, Воронеж, 1970.
4. А.П.Пшеничкин, Б.А.Гарагаш. О закономерности распределения в плане деформационных характеристик лессового основания. Материалы XXV н.-т. конференции ВИСИ, Воронеж, 1970.

НТБ
ДНУЖТ

5. А.П.Пшеничкин, Б.А.Гарагаш. Исследование напряженно-деформированного состояния системы "здание-основание" при организованном увлажнении по данным опытного строительства. В сб. "Вопросы механики грунтов и строительства зданий на лессовых основаниях", Чечено-Ингушское книжное издательство, Грозный, 1970.
6. А.П.Пшеничкин, Я.Д.Лялин, Б.А.Гарагаш. О пространственной неоднородности лессовых оснований. В сб. "Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области", Волгоград, 1971.
7. А.П.Пшеничкин, Я.Д.Лялин, Б.А.Гарагаш. К вопросу учета неоднородности лессовых оснований при проектировании и строительстве зданий и сооружений. В сб. "Основания, фундаменты и механика грунтов", Материалы III Всесоюзного совещания, Будивельник, Киев, 1971.
8. А.П.Пшеничкин, Б.А.Гарагаш. К вопросу о повышении давления на лессовые основания. В сб. "Вопросы устройства оснований и фундаментов в Волгоградской области", Волгоград, 1971.

По теме диссертации были сделаны доклады:

1. На совещании по полевым методам исследования грунтов, г. Рязань, 1969 г.
2. На XXV (1970), XXVI (1971) и XXVII (1972) научно-технических конференциях Воронежского инженерно-строительного института.
3. На научно-технических конференциях Грозненского нефтяного института в 1970, 1971 и 1972 г.г.
4. На III Всесоюзном совещании по основаниям, фундаментам и механике грунтов, г. Киев, 1971 г.
5. На научно-технических конференциях Волгоградского института инженеров городского хозяйства в 1971 и 1972 г.г.