

ГОССТРОЙ СССР
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
(НИИСК)

На правах рукописи

ДОСУЖАЯ Наталья Михайловна

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИИ КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ
СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ПОВТОРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции

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

К и е в - 1981

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте строительных конструкций Госстроя СССР (г. Киев).

научные руководители:

доктор технических наук,
профессор

С. В. Поляков

доктор технических наук,
старший научный сотрудник

И. А. Рожлин

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор

Р. Л. Маляя

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Ю. И. Немчинов

Ведущее предприятие - Донпромстройинипроект

Защита состоится ¹⁵ "8" ИЮНЯ 1981 г. в 14 часов на заседании специализированного Совета К 033.09.01 по присуждению ученой степени кандидата технических наук Научно-исследовательского института строительных конструкций Госстроя СССР по специальности 05.23.01 - строительные конструкции (252037, г. Киев-37, ул. Ивана Клименко, 5/2, актовый зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "7" МАЯ 1981 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник


Н. С. Метелюк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Строительство жилых зданий в особых условиях одна из проблем крупнопанельного домостроения.

Объем панельного строительства по Украинской ССР на 1980 год составлял ~2,8 млн. м². Из них: 17% - на лесовых грунтах; 9% - в сейсмических районах и до 25% - на угленосных территориях. Такое строительство требует применения для зданий защитных конструктивных мероприятий, повышающих стоимость строительства, в связи с чем разработка конструктивных решений, способствующих снижению затрат с одновременным удовлетворением качества - повышает эффективность капитальных вложений.

К числу резервов недостаточно использованных в данной области относится применение дешевых местных материалов, учет действительного повторного характера силовых воздействий, уменьшение трещинообразования в панелях и связанных с этим затрат на ремонт, более эффективное армирование, в частности, стеновых панелей. Известно, что в панельном строительстве, расход арматурной стали увеличивается, что объясняется стремлением повысить надежность и качество панельных зданий, в частности, стеновых панелей. Однако анализ материалов натурных обследований показывает, что рост качества строительства и затрат материалов не всегда совпадают и требуют изучения опыта и отбора оптимальных пределов.

Отсутствие нормативных указаний по принципам армирования стеновых панелей при больших объемах производства свидетельствует о необходимости подобных исследований. Работа выполнена по координационному плану научно-исследовательских работ Госстроя СССР на пятилетку (раздел I-Е, подраздел 0.55.04.01; С-13-а; стр. 219).

Цель работы

- экспериментальное изучение прочности и деформаций стеновых панелей из местного донецкого керамзитобетона для выявления возможности его применения при строительстве в особых условиях;

- разработка рекомендаций по расчету и конструированию панелей при комбинированном действии вертикальных и горизонтальных повторных статических нагрузок.

Научная новизна работы заключается в том, что выявлены натурные условия работы стеновых панелей при длительных переменных видах воздействий, что позволило выбрать оптимальную (по деформативности наружных ограждений) конструктивную схему здания;

- определен характер работы панелей в неупругой стадии и произведена оценка рекомендуемых методов расчета;

- установлено количественное различие напряженно-деформированного состояния при одноразовом монотонно-возрастающем и повторном приложении нагрузки, в т.ч. при повторных деформациях перекося и произведена оценка факторов, влияющих на его величину;

- экспериментально выявлен обжимающий эффект об'емного сеточного армирования и его влияние на прочностные и деформативные характеристики керамзитобетона при повторных нагрузках, в т.ч. на увеличение несущей способности от горизонтальных нагрузок;

- установлен характер предельного состояния, схемы разрушения и величины коэффициентов условий работы панелей в зависимости от армирования, условий на контуре, режима загрузки.

Автор защищает результаты расчетных и опытных исследований:

- прочности и деформации стеновых панелей в неупругой стадии при повторной нагрузке и результаты их количественной оценки;

- принципа мелкодисперсного об'емного, сеточного армирования панелей, выражающегося в количественных и качественных показателях работы материала, в т.ч. в схеме разрушения панелей;

- необходимости учета при повторных нагрузках пластических деформаций и длительных процессов в материале стеновых панелей;

- пригодности и возможности использования местного донецкого керамзита для строительства в сложных горногеологических условиях.

Практическое значение работы состоит в том, что

- разработанные предложения по применению об'емного сеточного дисперсного армирования панелей при проектировании зданий для особых условий повышают эксплуатационные качества панелей и, что особенно важно, снижают расходы на послеосадочный ремонт, связанный с трещинообразованием панелей после подработки горными работами, а также сокращают расход арматурной стали до 6%.

Реализация работы. Результаты настоящих исследований были использованы при составлении 5 нормативных документов, а также при проектировании жилых и промышленных зданий.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на семинарах и научно-технических конференциях в Москве (ЦИИСК, МИСИ, ЦНИИЭЖИЛЦ), Днепропетровске (ДИСИ), Одессе (ОИСИ), Донецке и Киеве (НИИСК, КИСИ, КИИП).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в печатных работах.

Об'ем работы. Диссертационная работа, состоящая из введения, пяти глав и заключения, изложена на 154 страницах машинописного текста, иллюстрирована 56 рисунками и 26 таблицами, содержит список использованной литературы из 110 наименований (в т.ч. иностранных источников 7) и приложений на 37 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Содержание диссертации посвящено исследованию прочности и деформации стеновых панелей из местного донецкого керамзитобетона при действии повторных статических нагрузок. Такой класс нагрузок широко распространен в практике: это суточные, сезонные, технологические колебания температур, влияние горных выработок, открытых взрывных работ, сейсмических воздействий, влияние изменяющегося уровня наполнителя в различных емкостных сооружениях типа резервуаров и пр.

Для решения вопросов, намеченных в диссертации, необходимо рассмотрение и изучение трех основных задач:

- определение действительного характера нагрузок (деформаций), возникающих в стеновых панелях и их некоторое аналитическое представление (первая и вторая главы);

- определение расчетным методом напряжений в панелях от установленных нагрузок; оценка расхождения данных между одноразовым и повторным приложением нагрузок (глава третья);

- лабораторные исследования панелей из местного донецкого керамзита при повторных нагрузках и разработку рекомендаций по работе (четвертая и пятая главы).

Последний раздел составляет основное содержание работы.

В первой главе приведены краткий обзор исследований работы стеновых панелей, предназначенных для строительства в особых условиях, выявлен переменный характер их нагружения, приведен краткий обзор местных строительных материалов Донецкого бассейна. Показано, что на подрабатываемых территориях Донецкого и Львовско-Волинского

угольных бассейнов имеются значительные запасы различных строительных материалов, в т.ч. глины, пригодных для производства местного керамзита.

В настоящее время намечено освоение упомянутых месторождений, в связи с чем возрос интерес к исследованиям конструкций на усиления, возникающие при подработке. Такие воздействия по своему характеру являются замедленными циклическими, вызывающими в материале чередование сжимающих и растягивающих напряжений, в связи с чем трещиностойкость новых видов бетонов требует исследования.

Весьма существенным моментом при проектировании панелей является отсутствие данных о их работе при переменных нагрузках: отсутствует оценка расхождения данных между идеализированной расчетной схемой при одноразовом приложении нагрузки и действительным напряженным состоянием элемента, претерпевающим вынужденные деформации по замедленному циклическому закону.

Для анализа работы и унификации расчетов панелей от различных воздействий, возникла необходимость найти общую форму их аналитического представления.

Основываясь на классификации переменных воздействий предложенной А.Я. Барашиковым, оказалось возможным представить действующие на стеновые панели нагрузки и деформации аналитическим способом (рис. 1, 2).

Трудами многих исследователей установлено, что напряженное состояние скатого бетонного элемента при действии длительных переменных воздействий может быть приближенно описано выражением

$$\sigma^*(t) = \sigma_0 R(t) + \sigma_{ог}(t) = \sigma_0 [-\cos \omega t + e^{-\beta t} (1 + \frac{1}{2} \beta t)] \quad (1)$$

Между тем, для практических расчетов, СНиП и др. нормативные документы рекомендуют зависимость, полученную при кратковременном одноосном одноразовом монотонно-возрастающем приложении нагрузки

$$\sigma = 1,1 R_{np} (1 - e^{-0,9 \sigma t}) \quad (2)$$

которая положена в основу выполненных массовых проектных решений.

Для нормальной эксплуатации конструкций, испытывающих длительные переменные нагрузки, необходимым условием является соответствие действительного напряженного состояния $\sigma^*(t)$ и напряженного состояния σ , предусмотренного проектным решением

$$\sigma^*(t) \geq \sigma$$

Пренебрежение этим условием может на практике привести к уменьшению долговечности, необходимости преждевременных ремонтов, а иногда к разрушению конструкций, правильно запроектированных на

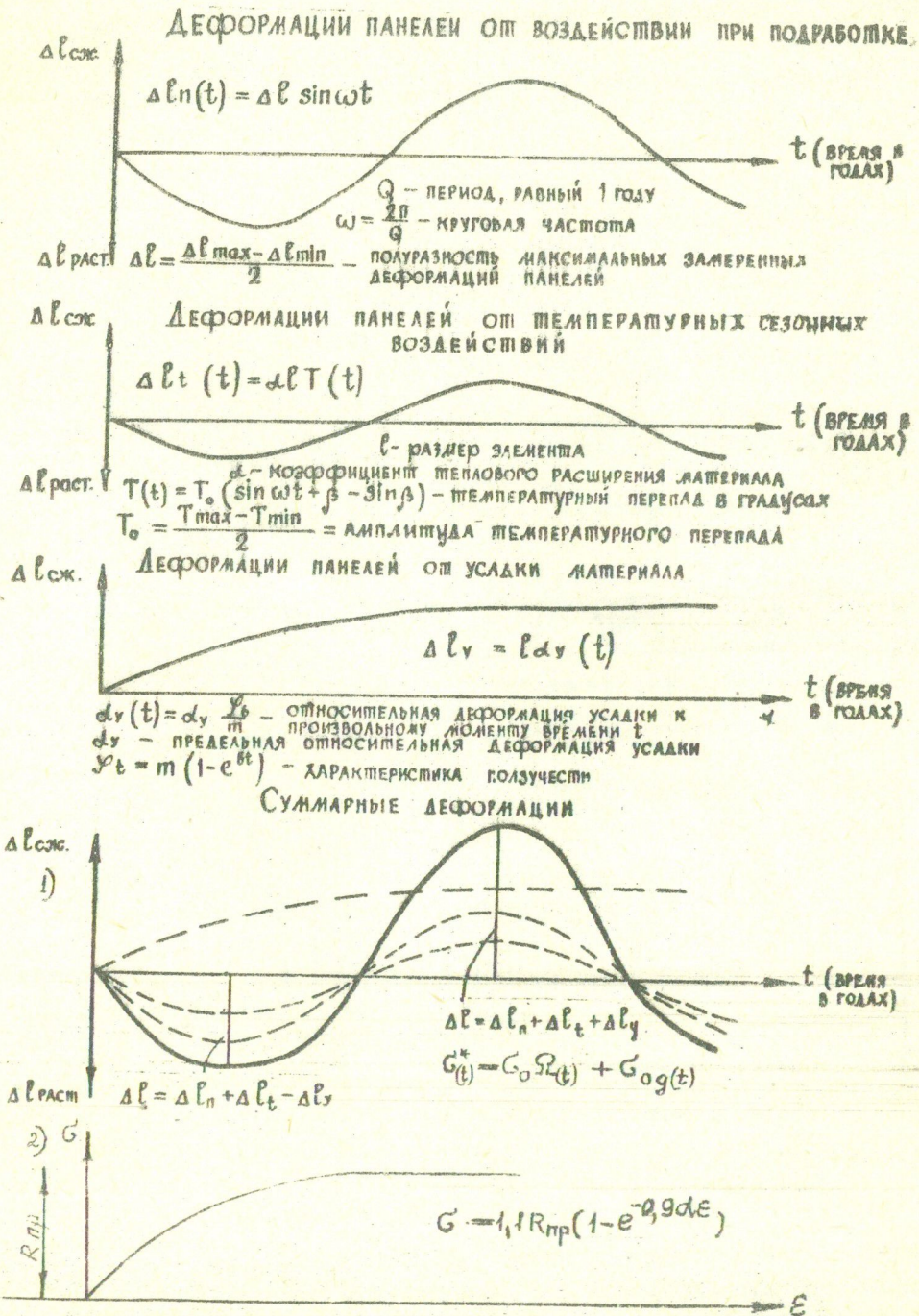
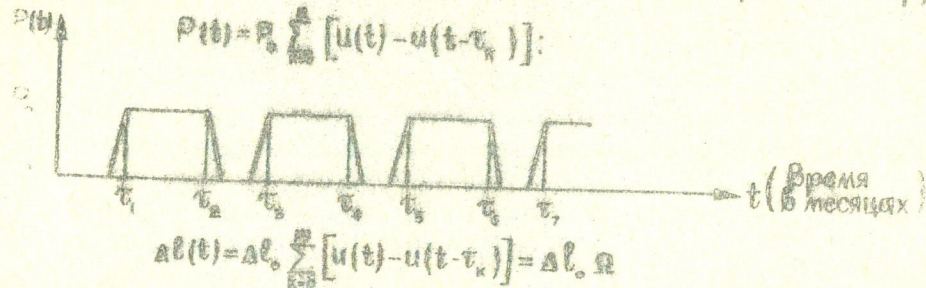


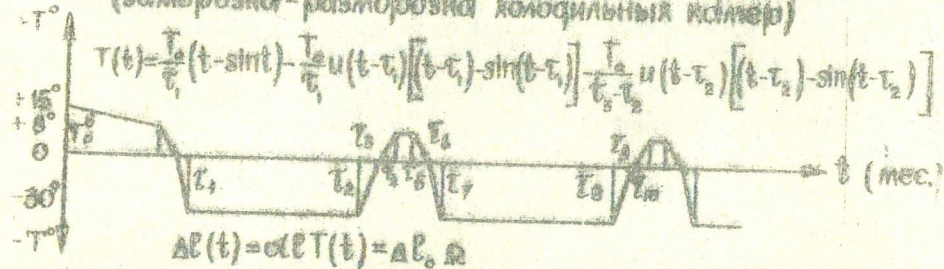
Рис. 1 Предпосылки исследований стеновых панелей. Напряженно-деформированное состояние бетона при 1) повторных воздействиях; 2) однократном воздействии

Характер деформаций панелей при повторных нагрузках

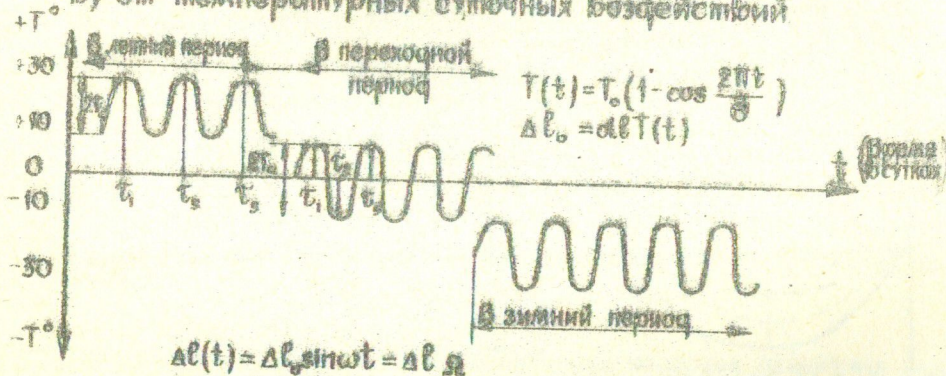
а) от поочередной нагрузки (загрузка-разгрузка колодильных камер)



б) от температурных полноточеских воздействий (заморозка-разморозка колодильных камер)



в) от температурных суточных воздействий



С учетом реологических факторов

$$\epsilon(t) = \epsilon_0 \Omega(t) + \epsilon_0 \varphi_1(t); \quad \sigma(t) = \sigma_0 \Omega(t) + \sigma_0 \varphi_1(t)$$

Рис. 2. Предпосылки исследований стеновых панелей. Напряженно-деформированное состояние бетона при повторных воздействиях

постоянные нагрузки.

При выполнении предварительных расчетных исследований, отношение упомянутых напряжений составляет $\sigma^*(t) : \sigma < 1$. Поскольку $\sigma \leq R_{пр}$, полученный результат предварительных исследований может быть улучшен для конструкций, подверженных повторным воздействиям, повышением марки бетона либо разработкой конструктивных мероприятий, повышающих прочность изделий, т.е. во всех случаях нуждался в лабораторных исследованиях.

Исследованиями стеновых панелей занимались многие авторы и научные коллективы. основополагающими работами в данной области являются работы - Н.В.Морозова, С.В.Полякова, Т.А.Поповой, А.А.Гагариной, И.А.Рохлина, а также И.Н.Ахвердова, А.А.Адилходжаева, В.И.Гусакова, А.С.Дмитриева, В.А.Захарова, А.М.Жарова, Ю.А.Измайлова, В.А.Камейко, В.И.Коноводченко, М.М.Кукебаева, Р.А.Кулиева, В.И.Куршпеля, В.Г.Леличенко, А.И.Левина, Р.С.Минасяна, В.Ф.Майборода, В.Л.Мусиенко, В.И.Скрибо, М.Т.Седаковой, Э.Г.Садыхова, М.С.Сарджаева, В.Г.Цымблера, Г.А.Шапиро и многих других исследователей.

За рубежом подобными исследованиями занимались Кокер Э.Д. и Файлон А., И.Беджамин и Х.Вильямс, М.Холмс, К.Сачанский и др. Труды упомянутых ученых выполнены основные исследования работы панелей, позволившие развить крупнопанельное домостроение. Анализ выполненных исследований определил круг задач, требующих дополнительного решения, либо повторной проверки, в связи с полученными ранее противоречивыми результатами.

К числу таких задач относятся:

- исследования работы панелей за пределами упругости, т.к. предшествующие исследования ограничивались, в основном, упругой стадией.

- Исключения составляют исследования А.А.Гагариной, проведенные на моделях методом электроаналогии;

- исследование работы панелей из местного (днепровского) керамзита. Экспериментальные работы проводились с панелями из кирпичной кладки и др.штучных материалов: в меньшем объеме - из бетонов и железобетона и почти не проводились из местных материалов. Исследование днепропетровского керамзита в крупноразмерных конструкциях произведено впервые;

- определение влияния повторной статической нагрузки; предыдущие исследования проведены при однократном приложении монотонно-возрастающей или динамической нагрузок;

– определение влияния, роли и рациональной схемы армирования при повторных нагрузках;

– определение предельно допустимой величины относительной угловой деформации (угла перегиба), действительной сдвиговой жесткости и расчетной схемы панели.

В главе 2, в соответствии с задачами исследований, была разработана методика работы, в основу которой положены результаты наблюдений за работой панелей в зданиях, в процессе их эксплуатации и экспериментальных исследований, а также результаты проведенных обследований панелей в процессе их изготовления и монтажа здания.

Было установлено, что общими для всех видов особых воздействий является сдвиговые деформации – сдвиги, жесткие повороты, перегибы панелей. Согласно "Указаний" СН-321-65 однослойные панели наружных стен армируются сварными каркасами, расположенными по контуру панели и проема. Во избежание недопустимого раскрытия трещин в углах проема, по требованиям "Указаний", арматуру горизонтальных каркасов, обрамляющих проем, необходимо заводить за его грани, а участки панелей, примыкающих к углам, усиливать сетками с ячейкой не более 50x50 мм.

Установленное СНиП минимальное конструктивное армирование в 0,5% площади поперечного сечения панелей эффективно для сокращения деформаций ползучести бетона при длительной нагрузке, но не предотвращает появления дефектов от различных других воздействий.

Подтверждение этому можно найти при натурных обследованиях, где оказалось, что однослойные панели, без арматурных сеток по фасадным плоскостям в зданиях серии I-464 имели 86% дефектов, против 20% дефектов в панелях, имеющих фасадные сетки (здания серии I-480).

Материалом для опытных образцов служил керамзитобетон на доломитовом керамзите, полученный из глины харцизского месторождения Артемовского завода: объемная масса – 800 кг/м³, предел прочности – 35 кг/см². Цемент марки – 500, заполнитель – керамзитовый песок. Бетон проектировался М-75. Состав по весу Ц:П:К = 1:1,6:2,1 при В/Ц = 0,64.

Были изготовлены образцы в масштабе 1:2 двух типов, всего 68 шт.: сплошных – 32 шт., с проемами – 36 шт. Внутри каждого типа образцы разделялись на 3 серии, отличающиеся армированием, которое положено в основу маркировки: К-1 (каркасное); К-Сн-25, К-Сн-10 – каркасносеточное с размером ячейки 25x25 см и 10x10 см
* Завод строительных материалов

Были изготовлены также панели с проемами: К-1У (аналоги само-несущих панелей серии I-464); К-У-25 (аналоги несущих панелей серии I-480) и панели К-У-10, имеющие каркасносеточное армирование с размером ячейки сетки 10x10 см. Одновременно были изготовлены кубы (85 шт.) и призмы (20 шт.). Проектная марка бетона М-75. Арматура классов А-III и В-I, сечением ϕ 6 мм и ϕ 8 мм, соответственно с пределом текучести $\sigma_T = 400$ МПа и временном сопротивлением $\sigma_b = 500$ МПа, модулем упругости $E_o = 2 \cdot 10^5$ Мпа.

Расстановка приборов при испытаниях была осуществлена с учетом а) данных, полученных из натурных исследований и обследований о зонах концентрации напряжений;

б) данных, полученных из предварительных опытов, выполненных на моделях из оргстекла, методами оптического моделирования.

Характер приложения нагрузки на образец осуществлялся методом повторного действия через специально выполненные башмаки и траверсы, ступенями равными 10% от ожидаемой трещинообразующей нагрузки (до появления трещин), а затем – увеличивалась, примерно, вдвое и равнялась 0,1 разрушающей нагрузки.

Такой режим загрузки позволял изучить остаточные деформации в материале изделия, их рост в процессе загрузки, влияние армирования на рост пластических деформаций, уровень трещинообразующей нагрузки, предельную растяжимость материала и конструктивные возможности его увеличения при повторных воздействиях; он также позволял изучить особенности работы легкого бетона на растяжение при разгрузке, после кратковременного обжатия возрастающего уровня. Этот вопрос не изучался для легких бетонов, а при исследованиях тяжелых бетонов были получены противоречивые данные.

По схеме приложения нагрузки изучались: для сплошных образцов – 3 схемы: континуальная вертикальная, диагональная с одноосным и диагональная – с двухосным приложением усилий. Для образцов с проемами изучались 4 схемы: вертикальная континуальная и вертикальная сосредоточенная на простенках, диагональная с одноосным и диагональная с двухосным приложением нагрузки.

В связи с тем, что одной из задач исследования являлось изучение процесса трещинообразования при повторных нагрузках были применены ультразвуковые измерения.

Исследования проводились прибором типа УП-4 конструкции НИИСК, преобразователи устанавливались в местах максимальной концентрации напряжений, поперек предполагаемой трещины – в центре сплошных образцов, в углах образцов с проемами и т.п.

В третьей главе выполнены расчетные исследования двумя методами:

- пластинчатой аналогией на основе стержневой модели пластинки с учетом упругой и нелинейных стадий работы материала; задача решалась с помощью ЭВМ, по программе для М-20;

- рамной аналогией с учетом длительных процессов и повторных нагрузок.

В работе использован метод, разработанный П.Т.Сосисом, Л.Г.Дмитриевым, А.С.Городецким и основанный на аппроксимации пластинки стержневой моделью с различными жесткостями стержней: путем такого моделирования представляется возможность учесть физическую нелинейность работы железобетонных конструкций в неупругой стадии.

Для характеристики работы сжатого стержня при кратковременном нагружении использована зависимость, предложенная Д.И.Онищиком

$$\sigma_g = 1,1 R_{np} (1 - e^{-q \sigma \epsilon}) \quad (2)$$

Для характеристики работы растянутого стержня использована диаграмма напряжений в растянутой арматуре, предложенная В.И.Мурашевым.

$$N_p = A_p \epsilon + B_p \epsilon^2 + C_p \epsilon^3 + D_p \epsilon^4 \quad (3)$$

В физическом смысле примененный шаговый метод или метод последовательного нагружения представляет собою моделирование дискретного процесса нагружения, имитирующего его цикличность, т.е. нагрузка прикладывается отдельными ступенями, с учетом изменения упругопластических характеристик сооружения. Такая методика работы относительно близко соответствует действительной работе конструкции при повторных статических нагрузках.

При расчете были использованы упругие характеристики материала, полученные в опытах.

Для изучения работы панели при повторных воздействиях с учетом длительных процессов и влияния армирования был применен расчетный метод, разработанный И.И.Улицким, А.Б.Голцшевым, А.Я.Барашиковым и основанный на синтезе теорий упруго-ползучего тела и теории старения.

Согласно примененного метода, полные напряжения и деформации могут быть представлены

$$\sigma(\dot{t}) = \sigma_0 \Omega(t) + \sigma_{ог}(t) \quad (1) \quad \text{где:}$$

σ_0 - упруго-мгновенные напряжения (деформации), вызванные действием нагрузки P_0 ; $\Omega(t)$ - любая непрерывная функция;

$\sigma_{ог}$ - дополнительное напряжение (деформации), вызванные действием только реологических факторов при нагрузке P_0 и зависящие от вида нагрузки.

Величина жесткости с учетом фактора времени для элемента, подверженного повторным нагрузкам, имеющего трещины в стадии эксплуатации может быть определена по приближенной формуле

$$B(t) = F_a E_a h_0 (h_0 - \frac{F_a}{\sigma}) \chi(t) \quad (4)$$

В результате расчета получено снижение жесткости в 3,5 раза, что составляет 0,29 B_0 , против 0,42 B_0 при одноразовом приложении нагрузки.

Анализ формулы (4) показывает, что величина жесткости элемента зависит от двух составляющих - размеров сжатой зоны бетона и характеристик арматуры. При повторных нагрузках и чередовании разновысоких напряжений, возникает прогрессирующее трещинообразование, размеры сжатой зоны бетона убывают, а поэтому арматура оказывает влияние, возрастающее во времени.

Анализ полученных данных подтверждает расхождения между упругими и нелинейными расчетами, между одноразовым и повторным нагружением конструкций, особенно при нагрузках близких к трещинообразующим.

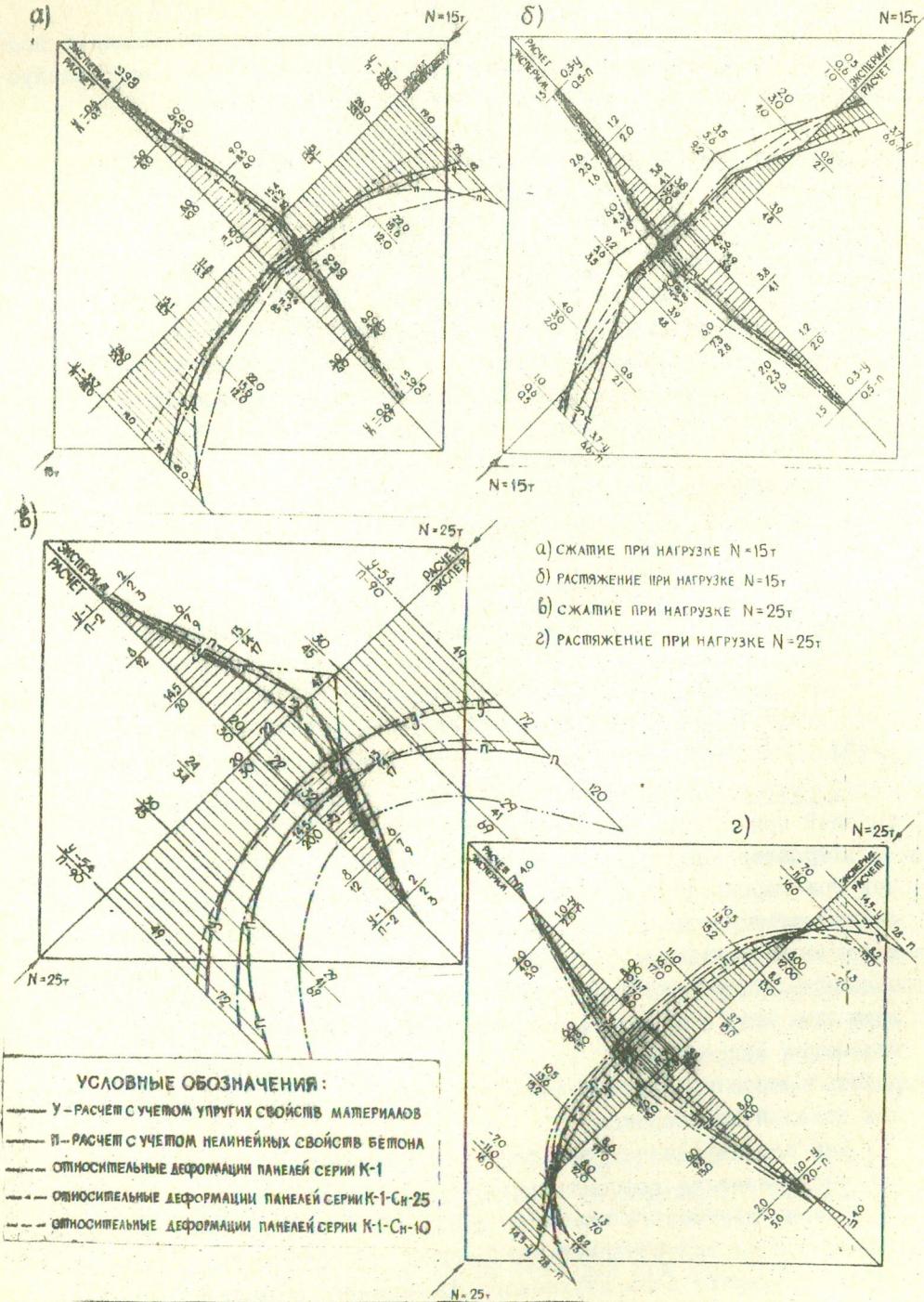
При пластинчатой аналогии учет пластических свойств материала, в среднем, снижает усилия до 20%, увеличивает размеры деформаций до 50%.

При рамной аналогии учет повторного приложения нагрузки увеличивает размеры деформаций на 20-30%, снижает трещинообразующую нагрузку на 20-40%.

В четвертой главе приведены исследования образцов сплошных панелей при сжатии и перекосе.

Характер напряженно-деформированного состояния сплошных образцов при перекосе представлен на рис.3. Деформации сжатой диагонали концентрируются по ее концам и убывают по кривой к середине; деформации удлиняющейся диагонали достигают наибольшей величины в центре. Напряженное состояние панели в центре можно характеризовать как зону с малыми нормальными сжимающими и наибольшими растягивающими напряжениями. Такие условия наименее благоприятны для работы бетона и служат причиной раннего трещинообразования сплошных панелей при перекосе.

Для неармированных панелей, кроме центральной зоны значительные растягивающие деформации возникают в конце средней трети панели, а зоны двухосного сжатия, в отличие от армированных панелей, развиваются с первых ступеней нагружения; при разгрузке в этих же местах возникают зоны двухосного растяжения. В этих образцах следующие трещины возникают в конце средней трети, т.е. армирование



- а) СЖАТИЕ ПРИ НАГРУЗКЕ N=15т
- б) РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ НАГРУЗКЕ N=15т
- в) СЖАТИЕ ПРИ НАГРУЗКЕ N=25т
- г) РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ НАГРУЗКЕ N=25т

при перекосе определяет схему деформаций и разрушения.

Сравнение расчетных и опытных данных показывает, что деформации в центральной зоне (в пределах средней трети) при эксплуатационных нагрузках $N = 0,25N$ разр. близки для всех способов исследований (расхождения до 19–36%); за пределами упомянутой зоны расхождения между опытными и расчетными деформациями возрастают и происходят по вертикальной укорачивающейся диагонали, нарастая к ее концам.

С повышением напряжений четче проявляется влияние армирования на совпадаемость результатов: при увеличении нагрузки до предельной по трещинообразованию уже в центральной зоне панели увеличиваются расхождения между расчетными и опытными деформациями безарматурных образцов до 2-х раз, меньшие расхождения у слабоармированных образцов, а удовлетворительная сходимост наблюдается только для образцов, армированных сетками с ячейками 10x10 см (К-1-Сн-10). Размеры зоны двухосного сжатия и растяжения также изменяются в зависимости от армирования.

Аналитическое выражение напряженного состояния опытных образцов, представлено в табл.2.

Сравнение данных напряженного состояния сплошных образцов в зависимости от режима нагружения, армирования и др. факторов

Таблица 2.

Вид конструкции	Режим нагружения			
	одноразовое, кратковрем.	повторное, кратковременное (опыты автора)		повторное, длительное
		осевое по Оницику Л.И.	равн.распред. сжатие	
призмы	$\sigma = 1,1R(1 - e^{-0,94\epsilon})$ $\sigma = 0,88R$	$\sigma = 0,75R(1 - e^{-0,11\epsilon})$ $\approx 0,92R$		$\sigma = R(\cos \alpha + e^{-0,7\epsilon})$ $\approx 0,7R$
панели К-1		$\sigma = 0,83R(1 - e^{-1,1\epsilon})$ $\approx 0,62R; \sigma_2 = 0,75R$	$\tau = 0,24R(1 - e^{-1,5\epsilon})$ $\approx 0,12R; \tau_2 = 0,19R$	
панели К-1-Сн-10		$\sigma = 1,35R(1 - e^{-\epsilon})$ $\approx 0,93R; \sigma_2 = 1,3R$	$\tau = 0,44R(1 - e^{-1,5\epsilon})$ $\approx 0,23R; \tau_2 = 0,39R$	

$\sigma; \tau$ — получены для стадии начального трещинообразования.

Приведенные сравнения показывают, что формула Л.И.Оницика, применяемая для расчета стеновых панелей, при повторных кратковременных воздействиях дает расхождения с опытными данными в 1,5–2,0 раза.

Как уже упоминалось, для неармированных панелей кроме центральной, критические по трещинообразованию зоны появляются на границе

центральных и крайних третях панели, где отмечаются значительные деформации растяжения, а также сжатия, меняющие при разгрузке знак напряжений. С повышением уровня нагрузки, здесь возникают вертикальные трещины отрыва бетона при величинах деформаций растяжения больших на 30-50%, чем в центральной зоне; при разгрузке в этих зонах возникают горизонтальные разгрузочные трещины разрыва бетона, закрывающиеся при нагрузке. Такое явление можно объяснить неоднородностью деформированного состояния пластинки, т.е. изменения физико-механических характеристик материала в различных зонах изделия, вызванных разной интенсивностью сжимающих усилий по длине диагонали.

В начальных стадиях загрузки в крайних третях панелей происходит упругое уплотнение структуры бетона, повышение его прочности и, в связи с этим, рост предельных деформаций, в т.ч. растяжения. Вследствие упомянутого, первые трещины возникают не в рассматриваемых зонах, а в центре панели, где сжимающие напряжения очень малы, упругое уплотнение структуры незначительно, а напротив, в уплотненном бетоне свободно развиваются наибольшие деформации растяжения.

При дальнейшем повышении уровня напряжений, вследствие исчерпания упругих сил восстановления первоначальной структуры, смятия ее и развития микротрещинообразования, возникают зоны дополнительного трещинообразования сначала при нагрузке, а затем от растяжения при разгрузке.

В армированных панелях характер напряженно-деформированного состояния, как видно из рис.3,4 отличается, что подтверждает обжимающий характер армирования.

Очевидное влияние армирования на характер разрушения позволило провести исследование предельного состояния панели, в связи с чем было проанализировано две теории прочности.

Таблица 3.

Сравнение величины опытной и расчетной трещинообразующей нагрузок при одноосном и двухосном сжатии

Серия образцов	Схема обжатия	Трещинообразующая нагрузка в т				Отношение нагрузок расчетной и опытной $\frac{N_p}{N_{x эк}}$	
		Опытная		Расчетная			
		$N_{эк}$	проекция на грань $N_{x эк}$	$N_1 = \frac{R_{ср} F}{K_T}$	$N_2 = \frac{R_p F}{K_p}$	$\frac{N_1}{N_{x эк}}$	$\frac{N_2}{N_{x эк}}$
К-1	одноосн.	30,0	21,3	25,6	33,3	1,20	1,57
К-1	двухосн.	62,3	44,2	29,3	48,0	0,66	1,09
К-1-Сн-10	одноосн.	60,3	43,6	25,2	35,2	0,62	0,83

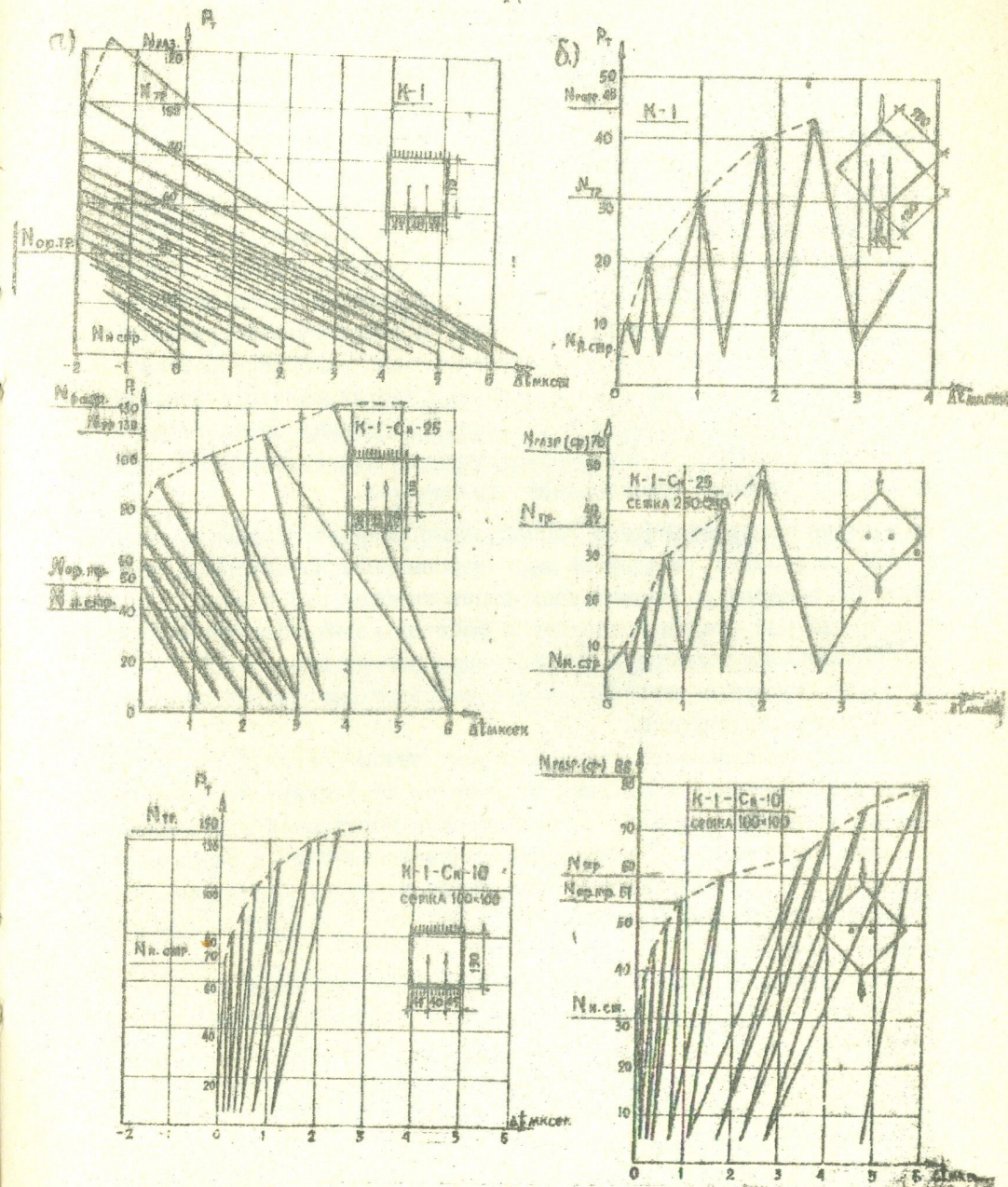


Рис.4. Графики изменения времени прохождения ультразвука в образцах К-1; К-1-Сн-25; К-1-Сн-10; а) при вертикальной нагрузке; б) при диагональн. нагрузке.
 $N_{н.стр.}$ - нагрузка при нарушении структуры материала
 $N_{ор.тр.}$ - нагрузка при появлении ориентированной трещины в материале
 $N_{тр.}$ - нагрузка при появлении первой видимой трещины
 $N_{разр.}$ - нагрузка при разрушении панели

Из таблицы видно, что теория касательных напряжений дает близкое совпадение с опытными данными неармированных образцов. Теория главных растягивающих напряжений лучше совпадает с опытными данными армированных образцов, а также с данными испытаний безарматурных панелей, подвергнутых обжатию вдоль обеих диагоналей, что подтверждает аналогию их напряженного состояния.

Опыт с обжатием позволяет утверждать, что армирование препятствует развитию деформаций в материале, а развивающиеся в арматурной сетке напряжения действуют аналогично обжатию материала. Повышение трещиностойкости таким образом усиленных панелей можно объяснить вовлечением в работу арматурной сетки, а следовательно уменьшением в бетоне главных растягивающих и касательных напряжений. Этим опытом удалось выявить значение и степень участия конструктивной или монтажной арматуры, которая в условиях деформаций перекоса становится рабочей арматурой и при соответствующей конструкции, эффективным средством повышения трещиностойкости панелей.

В пятой главе приведены исследования панелей с проемом. Они позволили установить, что общий характер напряженно-деформированного состояния панелей с проемом всех типов конструкций и всех схем нагрузки в упругой стадии совпадает с работой замкнутого рамного контура. За пределами упругости армированные панели продолжают работать как рамный контур и характер их деформаций и разрушения зависит от схемы приложения нагрузки.

Что касается панелей без арматурных сеток (серия К-IV), их работа в стадии высоких напряжений отличается от замкнутого контура: возникающие в местах наибольшей концентрации напряжений и наименьшей прочности, пластические деформации быстро развиваясь в различных направлениях, опережают развитие деформаций в других местах конструкции, расчленяют панель на отдельные элементы, что совпадает с характером крупного разрушения.

При предварительном обжатию удлиняющейся диагонали безарматурного образца силой $N=0,1N$ разр. картина напряженно-деформированного состояния совпадает с работой армированных образцов.

Особенно быстро, по сравнению с одноразовым, растет деформативность при повторных загрузках за пределами упругости, после образования трещин, превышая приращения нагрузки, имея на коротком участке линейную, а затем криволинейную зависимость.

Для аналитического выражения опытных кривых методом наименьших квадратов, подобраны функциональные зависимости, показывающие близкое совпадение с экспериментальными данными (табл. 4:7) на всех стадиях напряженного состояния.

Величина нормальных напряжений при повторных нагрузках

$$\sigma = m R_{np} (1 - e^{-n\epsilon}) = K_{\sigma} R_{np} \quad (5)$$

Величина касательных напряжений при повторных нагрузках

$$\tau = m_1 R_{np} (1 - e^{-n_1 \epsilon}) = K_{\tau} R_{np} \quad (6)$$

Таблица 4

Коэффициенты условий работы панелей

Марка типа панелей	K _σ		K _τ	
	предел упруг. работы	стадия пласт. деформаций	предел упр. работы	стад. пласт. деформаций
К-1	0,62	0,75	0,12	0,19
К-1-Сн-10	0,98	1,30	0,28	0,39
К-IV	0,5	0,70	0,08	0,12
К-У-10	0,7	1,0	0,17	0,25

m, m₁, n, n₁ - получены обработкой опытных кривых деформаций и зависят от степени напряженного состояния, конструкции и армирования панели

Относительная угловая деформация (угол перекоса) панели

$$\gamma \cdot 10^{-4} = C T^m \quad (7)$$

C - коэфф. жесткости получен обработкой опытных кривых деформаций панелей *m=2* - для данной разновидности бетона;

T - горизонтальная сдвигающая сила в кгс.

Таблица 5

Жесткостные характеристики панелей

Марка типа панелей	K - жесткости $\frac{1}{C} \cdot 10^{-10}$		Предел допуст. по трещ.-ног. угол перекоса $\gamma \cdot 10^4$ получ. м.к.	
	предел упруг. работы	зона пласт. деформаций	опытов	норм. док-тов
К-1	0,011	0,015	5,0-10,0	2000
К-1-Сн-10	0,005	0,004	8,0-16,0	
К-IV	1,88	1,27	6,0-36,0	
К-У-10	0,49	0,42	20,0-68,0	

Изгибная жесткость панелей "В"

$$B = K_B E J \quad \text{где} \quad (8)$$

$K_B=0,425$ - при одноразовом нагружении с учетом трещинообразования

$K_B=0,20$ - при повторном " " " "

$K_B=0,25$ - при повторном нагружении в предельном состоянии

Сдвиговая жесткость сплошных панелей

$$\gamma_{ккс} = \frac{T}{J} \quad \text{где} \quad (9)$$

T - горизонтальная сдвигающая сила в кгс

γ - Относительная угловая деформация (угол перекоса) панели

При пользовании ф-лой (10) для повторных нагрузок необходимо вводить коэффициенты условий работы

$$\left. \begin{aligned} K_2 &= 0,7 \text{ для панелей типа К-1} \\ K_2 &= 1,0 \text{ для панелей типа К-1-Сн-10} \end{aligned} \right\} \text{ где} \quad (10)$$

- при работе в зоне начального трещинообразования

плотности структуры материала трещины, получают различное направление, что совпадает с картиной работы хрупкого материала.

В панелях с проемом, при приложении нагрузки, распределенной по всей верхней грани (что соответствует условиям работы самонесущих панелей), растяжение возникает на внутренней грани перемычек и, одновременно, возникают значительные скалывающие усилия в углах проема, превышающие в 1,5 раза сопротивляемость бетона этому виду усилий, вследствие чего рекомендуемые СНиП П-21-75 конструктивные мероприятия оказываются недостаточными. Преимущественным решением является приложение нагрузки к простенкам, что свойственно панелям конструктивной схемы зданий с продольными несущими стенами.

Главной причиной разрушения армированных панелей с проемом при перекосе являются нормальные растягивающие напряжения; основной причиной разрушения неармированных или слабоармированных панелей — касательные напряжения.

3. Установлено и количественно оценено различие работы материала панелей при одноразовом и повторном нагружениях (при сжатии и перекосе).

При действии повторной сжимающей вертикальной нагрузки, вызывающей напряжение $0,8-0,4R$ при неармированных панелях установлен некоторый рост прочности и предельных деформаций, связанный с уплотнением материала. При повторных нагружениях, вызывающих перекося панелей прочность материала уменьшается с самых первых ступеней нагружения и этап уплотнения отсутствует.

4. Показано, что напряженное состояние бетонных панелей до появления первой трещины может описываться обычными методами теории упругости. При повторных нагрузках необходимо применение методов, учитывающих физическую нелинейность работы железобетонных конструкций.

Сравнение результатов расчетов показывает, что при пластинчатой аппроксимации учет нелинейных свойств бетона снижает величину усилий до 20% и увеличивает размеры деформаций до 50% по сравнению с упругим расчетом; при рамной аппроксимации (с учетом повторного приложения нагрузки) отмечается снижение величин усилий на 20-40% и увеличение деформаций до 30%.

5. Сеточное армирование при повторной циклической нагрузке увеличивает несущую способность керамзитобетонных панелей, в т.ч. при

перекосе в 1,7-2,0 раза относительно безарматурных образцов. В этом случае роль армирования при перекосе аналогична роли обжатия удлиняющейся диагонали. На прочность и деформации панелей оказывает влияние не только величина, но и конструктивное решение армирования: при армировании большей дисперсности уменьшаются размеры трещин, усилия и деформации после появления трещин распределяются по площади панели более равномерно, чем при меньшей дисперсности, повышаются предельные размеры деформаций, в т.ч. относительная угловая деформация. Это позволяет повысить несущую способность панелей на горизонтальную нагрузку.

Влияние армирования на работу панелей может быть учтено коэффициентами условий работы, полученными в настоящей работе.

6. Опыты показали, что повторные воздействия вызывают прогрессирующее трещинообразование, уменьшающее величину воспринимаемого усилия и это падение тем больше, чем больше предельное состояние элементов панели определяется разрушением ожатой зоны бетона, а не растяжением арматуры.

В панелях, работающих на перекося, наступление предельного состояния определяется в большей степени характером армирования. Перечисленные обстоятельства обязывают при расчетах на повторные воздействия учитывать снижение жесткости и уменьшение несущей способности панели. Исследования позволяют заключить, что в реальных условиях воздействие армирования на работу панелей более эффективно, чем это можно учесть упрощенными расчетами, предусматривающими одно разовое монотонно-возрастающее приложение нагрузки.

В силу изложенного, появившаяся в жилищном строительстве тенденция к снижению в стеновых панелях количества арматуры, в частности распределительных противоусадочных сеток и определение их функции как монтажных, не нашла подтверждения в исследованиях.

7. Анализ опытных данных позволяет заключить, что исследуемая разновидность керамзитобетона отличается от ранее изученных повышенной упругостью в начальной стадии нагружения. Деформации в материале при сжатии появляются при сравнительно небольших напряжениях, а величина коэффициентов поперечного расширения интенсивно увеличивается по мере роста напряжений, опережая приращения величины нагрузки. Материал можно рекомендовать для использования в несущих ограждающих конструкциях для сложных условий строительства, с учетом выводов настоящих исследований.

8. Использование полученных результатов позволяет конструировать панели с рациональным армированием. Достигается уменьшение расхода стали на 5-6%; одновременно повышается несущая способность стеновых панелей, испытывающих повторные воздействия. При этом повышается эксплуатационная надежность, снижаются расходы на ремонт стеновых ограждений. Расчетный годовой экономический эффект для Донецкого бассейна составляет около 300 тыс.рублей.

На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований, можно сформулировать следующие предложения по конструированию и расчету стеновых панелей, испытывающих повторные воздействия:

- при конструировании панелей, распределительную противоусадочную (монтажную) арматуру использовать в качестве рабочей, для чего выполнять ее в виде сеток из стали ϕ 3 мм с размером ячейки 10 x 10 см. Сетки следует устанавливать по обеим плоскостям панели, и, для создания об'емного пространственного каркаса, приваривать к контурной арматуре проема и панели;

- при расчете панелей, для определения нормальных и касательных напряжений, рекомендуется пользоваться формулами (5) и (6) с учетом данных таблицы 4;

- относительную угловую деформацию (угол перекося) панели следует определять по формуле (7) с учетом данных таблицы 5;

- изгибную жесткость элементов панели определять по формуле (8)

- сдвиговую жесткость сплошных панелей определять по формулам (9) и (10);

- сдвиговую жесткость панелей с проемом определять по формуле (11) с учетом данных таблицы 6 ;

- несущую способность панели при повторных горизонтальных нагрузках и модуль сдвига материала следует определять по формулам (13) и (14) с учетом данных таблицы 7.

Основное содержание работы изложено в статьях:

1. Досуая Н.М. Деформативность и прочность стеновых керамзитобетонных панелей при перекося. Сб."Строительство и архитектура" № 3, Будівельник, Киев, 1965.

2. Досуая Н.М. Некоторые вопросы работы крупнопанельных жилых зданий по данным натурных исследований. Сб."Строительство и архитектура", № 7, Будівельник, Киев, 1967.

3. Досуая Н.М. Конструкции стеновых панелей для зданий повышенной этажности, возводимых над горными выработками. Материалы совещания "Строительство зданий повышенной этажности на подрабатываемых территориях", Донецк, 1968.

4. Досуая Н.М., Клигерман С.И., Хинкис Е.Г. Совершенствование конструкций каркаса и стеновых панелей жилых и гражданских зданий. Материалы совещания "Пути улучшения качества проектирования и строительства", Киев, 1969.

5. Досуая Н.М. Деформативность панельных зданий над горными выработками. Сб."Строительство и архитектура", № 9, 1969.

6. Досуая Н.М. Ограждающие конструкции из местных материалов для строительства по подрабатываемых территориях. Сб."Строительство и архитектура", Будівельник, Киев, 1972.

7. Досуая Н.М. и др. Исследование конструкций и методов защиты жилых зданий на подрабатываемых территориях. Книга 22 п.л. Изд-во Будівельник, Киев, 1974.

8. Досуая Н.М. и др. Особенности работы строительных конструкций производственных полно-оборных холодильников предприятий мясомолочной промышленности с учетом знакопеременных температурных нагрузок и сложных грунтовых условий. Материалы 42-ой научной конференции КТИП, Киев, 1976.