


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

КАРА ДАМУР Ахмад Хамди



ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ НА СВОЙСТВА
БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции,
здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1993



00815932 (S)

26.86
железобетонных и каменных кон-
структорского института.

Научный руководитель - кандидат технических наук
профессор В.С.ДОРОФЕЕВ

Официальные оппоненты - доктор технических наук
профессор А.Г.ШКОЛА

- кандидат технических наук
доцент Ю.А.ШАФРАНОВСКИЙ

Ведущая организация - Проектно-исследовательский и конструкторско-технологический институт
"Одесстройпроект"

Защита состоится "6" апреля 1993 г. в 14 час.
на заседании специализированного совета Д.068.41.01 в Сдесском
инженерно-строительном институте по адресу: 270029, г.Одесса,
ул.Дидрихсона, 4. СИСИ, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "4" марта 1993 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета
к.т.н., доцент

Малахова

Н.А.Малахова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Известно, что бетон и железобетон в настоящее время являются основными строительными материалами. Поэтому, основная проблема строительства - нахождение оптимального сочетания экономичности и надежности сооружения. Повышение экономичности сооружения также возможно за счет применения недорогого конструкционного материала с максимальным использованием его прочности. Особенное внимание обращают на дефекты, приобретенные материалом в период технологической переработки. При рассмотрении конструкции как специально организованного материала дефекты материала автоматически переходят в конструктивные. Наличие их в конструкциях до приложения эксплуатационных нагрузок изменяет структуру материала и эксплуатационную долговечность, а после приложения нагрузки, - общее напряженное состояние последних, кинетику развития эксплуатационных трещин и характер разрушения. В связи с этим, актуальной задачей является углубленное исследование развития технологических трещин под действием малоциклического нагружения до разрушения. В данной работе проводилось исследование особенностей разрушения элементов с разной начальной поврежденностью под действием малоповторных нагрузок и ее влияния на развитие поверхностных трещин, характер разрушения и величину деформаций.

Цель работы: повышение стойкости при малоповторных циклических нагружениях за счет управления начальной поврежденностью материала и разработка предложений по ее учету в работе бетонных конструкций.

Для выполнения поставленной цели были определены следующие задачи исследований:

1. Изучить влияние поверхностных технологических трещин (ПТТ) на основные физические характеристики бетона.
2. Изучить влияние кратковременных циклических нагружений на развитие технологических трещин и характер разрушения.
3. Изучить влияние кратковременных циклических нагружений на накопление деформаций, остаточных деформаций, упругопластический модуль деформации.
4. Установить зависимости изменения деформаций от поврежденности бетона.
5. Изучить влияние малоциклового нагружения на малоцикловую стойкость бетона.

6. Разработать предложения по учету влияния технологических трещин на стойкость бетона.

Научная новизна. Исследования влияния поверхностной технологической поврежденности на изменение механических свойств бетонных конструкций и на изменение стойкости при малоцикловом нагружении позволили установить:

1. Влияние ПТТ на призмную прочность R_b , модуль упругости E_b и упругие деформации ϵ .

2. Влияние действия кратковременных циклических нагружений на развитие трещин и характер разрушения.

3. Влияние кратковременных циклических нагружений на накопление деформаций, остаточных деформаций, упругопластический модуль деформации.

4. Изменение величины деформаций в зависимости от длины трещин.

5. Влияние малоциклового нагружения на малоцикловую стойкость бетона.

6. Разработать предложения по учету влияния технологических трещин на стойкость бетона через коэффициент поврежденности.

Предметом зашиты являются:

- результаты выполненных экспериментальных исследований по определению влияния ПТТ на физико-механические свойства бетонных элементов при действии многократно повторных нагрузок;

- предложения по учету влияния кратковременных циклических нагружений на изменение поврежденности бетона (через коэффициент поврежденности);

- предложенная расчетно-теоретическая зависимость между упругопластическим модулем деформации и коэффициентом поврежденности на любом этапе многократно повторного циклического нагружения.

Практическая ценность работы. Состоит в снижении материалоемкости строительных материалов и конструкций. Связана с оптимальным проектированием конструкций, при котором наиболее полно реализуются возможности материала. Разработаны предложения по учету влияния ПТТ на свойства бетонных конструкций при малоцикловом нагружении через коэффициент поврежденности. Результаты исследований можно использовать при проектировании транспортных сооружений, например, железнодорожных мостов, же-

левобетонных шпал, а также куполов ядерных реакторов.

Апробация работы. Основные результаты настоящих исследований доложены и одобрены на научно-теоретических конференциях Одесского инженерно-строительного института в 1969-1992 годах.

Публикации. Основные положения и результаты исследований по теме диссертации опубликованы в трех работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Она изложена на 173 страницах машинописного текста и содержит 58 рисунков, 17 таблиц, список литературы из 159 наименований и 4 страницы приложения.

Автор выражает искреннюю благодарность д.т.н., профессору Выровому В.Н. за ценные предложения и замечания при работе над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность проводимых исследований и общая характеристика работы.

В первой главе отмечается, что в расчетах строительных конструкций нагрузки и другие внешние воздействия представляют собой наиболее неопределенные величины, имеющие больший статистический разброс, чем прочностные факторы. Поэтому в вопросах надежности изучение изменчивости нагрузок играет главную роль. Из анализа исследований малоповторных нагрузок, проведенных в СНГ и за рубежом, следует, что единого критерия назначений уровней и количества циклов малоповторных нагружений при проведении экспериментальных исследований нет. Однако, вопросы, связанные с влиянием технологической поврежденности на свойства бетонных конструкций при воздействии малоповторных нагрузок, не исследованы. В ходе исследований и анализа литературных источников и других материалов отмечено, что практически во всех строительных материалах присутствуют технологические трещины еще до приложения к ним эксплуатационных нагрузок. К таким дефектам относятся трещины в исходных компонентах и трещины, возникшие в период технологической переработки материала в изделие. Причинами зарождения трещин считают собственные объемные деформации системы в целом и отдельных ее компонентов, различие температурных и влажностных деформаций составляющих материала, стесненные деформационные эффекты, осмотические явления. В работах В.Н.Вырового, В.С.Дорофе-

ева, В.И.Соломатова было показано, что одним из приемов, позволяющих регулировать начальную поврежденность бетонов, является направленное применение наполнителей с разной дисперсностью и разным количеством по массе. Проведенный анализ позволяет заключить, что дефекты, заложенные в материале в период его технологической переработки в изделие, определяют локальное напряженно-деформированное состояние конструкции, характер трещинообразования и поверхность разрушения. Направленное изменение технологической поврежденности позволит управлять физико-механическими свойствами материала, кинетикой и характером разрушения конструкции. Применение методов механики разрушения затруднено, поскольку бетон является структурно неоднородным материалом.

Во второй главе приводится методика экспериментальных исследований. В опытах использовались стандартные образцы-призмы из обычного тяжелого бетона. В состав бетонной смеси был введен наполнитель из тонкомолотого кварцевого песка дисперсностью 100... 200 м²/кг в количестве 5...15 % по массе. Опыты проводились по плану "смесь - технология - свойства". Варьировались: расход цемента, количество наполнителя и его дисперсность. Были изготовлены призмы из 18 составов бетонной смеси. Образцы испытывали на 28-е сутки после твердения в нормальных условиях. Испытания проводились на вертикальной универсальной испытательной машине I класса типа УММ-20 (максимальное рабочее усилие 20000кГ). Перед испытаниями на всех образцах измеряли длину ПТТ. Трещины фиксировались измерительным микроскопом МПБ-2. Длину трещин измеряли курвиметром с точностью до 0,001 м. Во время испытаний контролировали призмную прочность R_s , модуль упругости E_s , изменение поврежденности. Нагрузка прикладывалась ступенями, равными 0,85 от ожидаемой разрушающей нагрузки с выдержкой в течение 5 минут, после чего следовала разгрузка до нуля. В наших опытах уровень нагружения был выбран 0,85 от ожидаемой разрушающей нагрузки, чтобы количество циклов до разрушения находилось в пределах 10...15 циклов. Через каждые 5 циклов "нагрузка-разгрузка" определяли длину трещин и ее приращение до разрушения, а также коэффициент рельефности (отношение длины базовой прямой к длине следа разрушающей трещины). Через такие же интервалы определяли и коэффициент поврежденности $K_{\text{п}}$, который равен сумме всех (технологические + эксплуатационные) поверхностных трещин ΣT , отнесенных к площади поверхности, на которой они образовались,

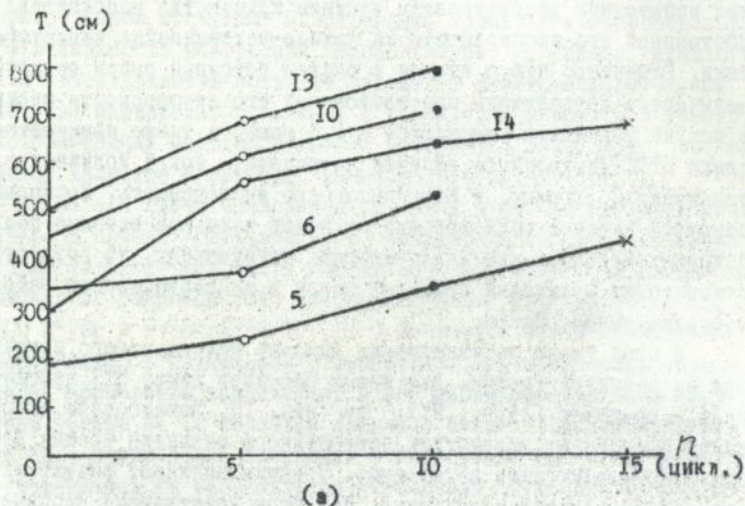
$K_n = \Sigma T/S$. Физический смысл K_n заключается в определении протяженности поверхностной трещины на единице поверхности.

В третьей главе рассматривается влияние состава бетона на начальную поврежденность T_0 , призмную прочность R_B , модуль упругости E_B и упругие деформации δ_e . При статических испытаниях рассматривали влияние количества наполнителя при постоянной его дисперсности на физико-механические характеристики. Отмечено, что с вводом в состав бетонной смеси разного количества наполнителя при постоянной его дисперсности прочность и модуль упругости изменяются в 1,3 раза, а также изменяется длина ПТТ. Аналогичное явление происходит, когда количество наполнителя постоянно, а изменяется его дисперсность. Поскольку основной задачей исследований является изучение влияния наследственных дефектов при малоповторных нагружениях, то результаты статических испытаний образцов вошли в диссертационную работу в ограниченном объеме.

В этой главе рассматривали влияние малоциклового нагружения на развитие трещин. Для наших образцов длина ПТТ находилась в пределах 123,0...513,0 см (рис. 1). Усталостное разрушение происходит вследствие постепенного развития трещин при повторно-циклическом нагружении. Трещины начинают развиваться задолго до полного разрушения. При этом действующие напряжения могут быть значительно ниже тех, которые вызывают разрушение бетонов. При испытаниях различают два этапа: первый - зарождение усталостных трещин, второй - собственно, стадия разрушения. С увеличением количества циклов нагружения увеличивается рост длины трещин. Максимальное приращение длины трещин отмечено у призм с количеством наполнителя 10 % по массе и дисперсностью 300 м²/кг. После пяти циклов нагружения длина трещин для этой призмы выросла от 513 до 697 см (на 35 %), а после 10 - такой прирост составил уже 54 %. Разрушение образца произошло при 12 циклах нагружений. Для образца с минимальной длиной ПТТ после пяти циклов произошел рост ее длины до 191 см. После 10 циклов такое приращение составило 212 % по сравнению с длиной ПТТ. Можно сказать, что приращение длины трещин после каждых пяти циклов зависит от состава бетонной смеси, длины поверхностных технологических трещин и от структурной связи между компонентами бетона.

В ходе экспериментальных исследований анализировали ич-

Влияние количества цикла нагружения на изменение длины трещины



Влияние количества циклов нагружения на интенсивность роста трещин

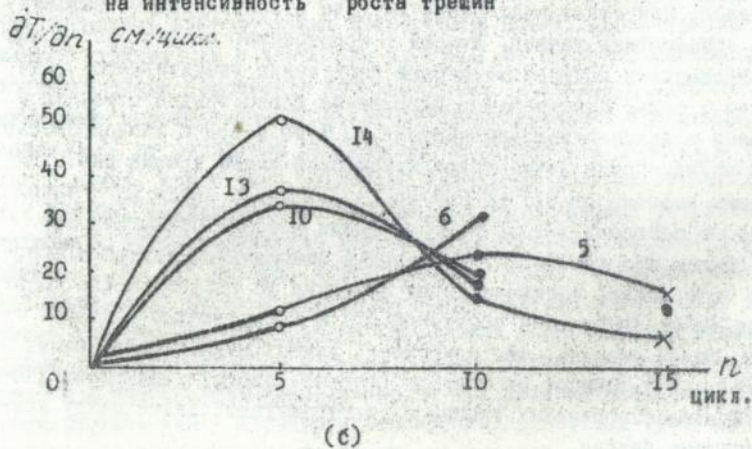


Рис. 1

тенсивность роста трещин после каждый пяти циклов нагружений (см. рис. I). В наших исследованиях интенсивность роста трещин находилась в диапазоне 9,2...53,0 (см/цикл), в зависимости от состава бетона, из которого были изготовлены образцы, а также длины ПТТ. Следовательно, на интенсивность роста трещин влияет состав бетонной смеси, начальная технологическая поврежденность, а также взаимосвязь между структурными компонентами бетонной смеси.

После разрушения для каждого образца определяли коэффициент рельефности. Он находился в пределах 0,86...0,94.

В четвертой главе проведен анализ влияния малоповторной нагрузки на деформации, общие остаточные деформации, упругопластический модуль деформации, а также на стойкость бетона.

В ходе анализа экспериментальных данных отмечено, что накопление деформаций также зависит от состава бетонной смеси, характера и длины технологических трещин, которые развиваются под нагрузкой, переходя в эксплуатационные. Предельное накопление деформаций при наших испытаниях находилось в диапазоне 1226×10^{-5} ... $2482 \cdot 10^{-5}$. Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод, что накопление деформаций нелинейно зависит от трещин, развивающихся в бетоне элемента.

Рассмотрим влияние малоповторного нагружения на интенсивность накопления деформаций. Наименьшая интенсивность накопления деформаций отмечена для призмы, в бетоне которой 10 % наполнителя дисперсности $100 \text{ м}^2/\text{кг}$ после 10 циклов нагружений. Ее (интенсивности) изменение очень незначительно - $1,0 \cdot 10^{-5}$. При увеличении количества циклов до 15 она составила $114 \cdot 10^{-5}$. Для призмы с дисперсностью наполнителя $1/2(100 + 200) \text{ м}^2/\text{кг}$ и его количеством 15 % по массе после 5 циклов нагружения интенсивность накопления деформаций была равной $200 \cdot 10^{-5}$, а после 10 циклов снизилась на 21 %. Призма разрушилась после 13 циклов при интенсивности накопления деформаций $203 \cdot 10^{-5}$. Максимальная величина интенсивности зафиксирована для призмы с 5 % наполнителя дисперсностью $100 \text{ м}^2/\text{кг}$ после 14 циклов - $450 \cdot 10^{-5}$.

Теперь проанализируем влияние малоциклового нагружения на накопление остаточных деформаций. При нагружениях бетонных элементов на высоких уровнях и при последующей разгрузке наблюдаются необратимые остаточные деформации. Каждый последующий цикл "нагрузка-разгрузка" приводит к их увеличению. В наших экспериментах накопление остаточных деформаций находилось в диапазоне

$351 \cdot 10^{-5} \dots 573 \cdot 10^{-5}$ после 15 циклов. Предельное накопление остаточных деформаций составило $682 \cdot 10^{-5}$ после 24 циклов нагружений (призма из бетона с содержанием 10% наполнителя дисперсностью $100 \text{ м}^2/\text{кг}$).

В результате экспериментального анализа установлено, что интенсивность накопления остаточных деформаций неодинакова для образцов из разных составов бетонной смеси и изменяется с каждым последующим циклом нагружений. Здесь важную роль играют количество и дисперсность наполнителя в составе бетонной смеси, а также характер ПТТ. Максимальная интенсивность накопления остаточных деформаций - $88 \cdot 10^{-5}$ отмечена для образца, в бетоне которого 10 % наполнителя дисперсностью $1/3(100 + 200 + 300) \text{ м}^2/\text{кг}$, после 6 циклов, что привело к разрушению образца.

В задачи эксперимента входило изучение влияния малоциклового нагружения на изменение величины упругопластического модуля деформации $E_{\sigma, \rho\epsilon}$. Анализ результатов показал, что с ростом количества циклов происходит уменьшение величины упругопластического модуля деформации. В наших исследованиях его величина изменялась в пределах от $2,3 \cdot 10^5$ до $0,62 \cdot 10^5$ ($\text{кг}/\text{см}^2$).

Для количественной оценки поврежденности бетона использовали коэффициент поврежденности (определение дано выше). При обработке экспериментальных данных и их последующем анализе отмечено, что технологическую поврежденность бетона можно регулировать при помощи направленного введения наполнителей, не изменяя при этом расход цемента. Как уже было отмечено при изложении содержания второй главы, сначала определяли технологический коэффициент поврежденности $K_{\text{по}}$, который для наших образцов находился в диапазоне $0,2 \dots 0,81$ (см^{-1}). Далее, после каждых пяти циклов фиксировали изменения коэффициента поврежденности. Минимальная величина $K_{\text{п}}$ получена после 5 циклов для призмы, в бетоне которой содержится 15 % наполнителя дисперсностью $300 \text{ м}^2/\text{кг}$, - $0,4 \text{ см}^{-1}$, а максимальная - после 10 циклов для образцов, из бетона с 10 % наполнителя по массе такой же дисперсности, как и для предыдущей призмы, - $1,2 \text{ см}^{-1}$.

Введение в качестве наполнителя тонкомолотого кварцевого песка с дисперсностью $100 \text{ м}^2/\text{кг}$ в количестве 10 % по массе позволило повысить стойкость бетона при малоцикловом нагружении за счет снижения поврежденности технологическими дефектами. Максимальное снижение влияния начальной поврежденности наблюде-

ется при увеличении размера частиц наполнителя до $d_n/d_c = 3$. При этом малоцикловая стойкость бетонных элементов повышается в 1,5...2,4 раза.

Наилучшие показатели при малоцикловом нагружении оказались у призмы, в бетоне которой содержится 10 % наполнителя дисперсностью 100 м²/кг. При увеличении количестве циклов от 5 до 10 коэффициент поврежденности изменяется в интервале 0,88...1,00, деформации - в интервале - $12,9 \cdot 10^{-5}$... $13,0 \cdot 10^{-5}$, а упруго-пластический модуль деформации уменьшается от $1,94 \cdot 10^5$ до $1,92 \cdot 10^5$ (кг/см²). После 15 циклов нагружений эти показатели изменились незначительно. Минимальной стойкостью к малоцикловому нагружению обладал образец из бетона с 10 % наполнителя дисперсностью 1/3(100 + 200 + 300) м²/кг. Эта призма выдержала всего 6 циклов нагружений.

В результате обработки и анализа экспериментальных данных была выведена расчетно-теоретическая зависимость коэффициента поврежденности от упругопластического модуля деформации:

$$E = aK_n^3 + bK_n^2 + cK_n + d, \quad 1$$

где

$$\begin{aligned} a &= 2,08 n^3 - 30,4 n + 135 \\ b &= -5,32 n^2 + 75,8 n - 313 \\ c &= 4,52 n^2 - 63,4 n + 247 \\ d &= -1,268 n^3 + 17,5 n - 63,14 \end{aligned}$$

Результаты, подсчитанные по вышеприведенной зависимости, обладают хорошей сходимостью с экспериментальными. На рис. 2 эти результаты реализованы графически.

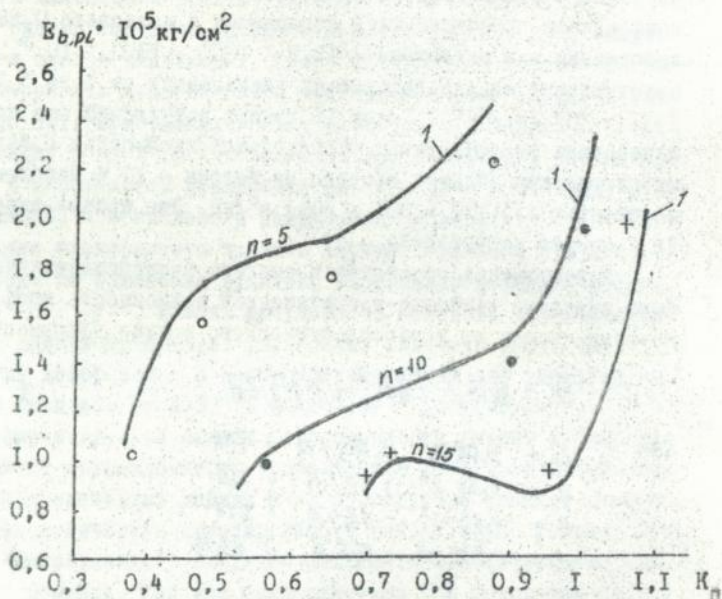
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили установить наличие технологических трещин в бетоне, их влияние на физико-механические свойства бетона и малоцикловую усталость.

1. Определены составы бетона с минимальной технологической поврежденностью, что позволило повысить его стойкость при малоповторных циклических нагружениях в 1,5...2,4 раза.

2. Изменение технологической поврежденности позволяет изменять прочность в 1,3 раза, упругие деформации - 1,3 раза и

Зависимость упругопластического модуля деформации
от коэффициента поврежденности и количества
циклов нагружения



- 1 - Теоретическая кривая по формуле (1).
o - Экспериментальные точки после 5 циклов
• - Экспериментальные точки после 10 циклов
+ - Экспериментальные точки после 15 циклов

Рис. 2

модуль упругости - в 1,3 раза, значения R/R_0 изменяются в 1,1...1,5 раза. Среднее значение отношения R/R_0 равно 1,2.

3. Начальная поврежденность определяет интенсивность накопления эксплуатационных дефектов и, тем самым, характер разрушения бетона. Установлено, что увеличение количества циклов нагружения вызывает увеличение длины трещин в 3,2 раза. В зависимости от начальной и эксплуатационной поврежденностей коэффициент рельефности может изменяться в интервале 0,87...0,94.

4. При немногоскратном повторном статическом нагружении бетоном сжимающей нагрузкой происходит изменение его прочностных и деформативных характеристик, предельная деформация определяется, в основном, начальной поврежденностью (составами бетона) и зависит от количества циклов нагружения. Накопление остаточных деформаций определяет стойкость бетона. Так, для бетонов с неоптимальными наполнителями прирост остаточных деформаций после первых пяти циклов составил $442 \cdot 10^{-5}$, а для бетонов с оптимальными - такой же прирост наблюдается уже после 15 циклов нагружений.

5. Установлено, что упругопластический модуль деформации зависит от коэффициента поврежденности. С увеличением коэффициента поврежденности увеличивается упругопластический модуль деформации. Увеличение коэффициента поврежденности от 0,7 до 1,0 ведет к повышению упругопластического модуля деформации от $1,0 \cdot 10^5$ до $2,2 \cdot 10^5$ кг/см².

6. Установлено, что величина деформации нелинейно зависит от количества развивающихся в бетоне трещин. Увеличение протяженности трещин в 1,3 раза (до 10 циклов повторного нагружения) ведет к повышению деформации бетона в 2,3 раза, последующие циклы нагружения (до 15 циклов) вызывает прирост длины трещин в 1,2 раза, что ведет к повышению деформаций бетона в 2,61 раза.

7. Разработаны предложения по учету влияния технологической поврежденности на повышение стойкости бетона через коэффициент поврежденности.

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих публикациях:

1. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Кара Дамур А. Влияние технологических трещин на характер разрушения композиционных материалов и конструкций. Тезисы докладов, Пенза, 1990. - С. 12.

2. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Кара Дамур А. Учет технологической поврежденности в работе энергетических сооружений. Те-

зисы докладов научно-практической конференции "Исследование работ и применение в строительстве эффективных элементов и конструкций", Ровно, 1990. - С. 49.

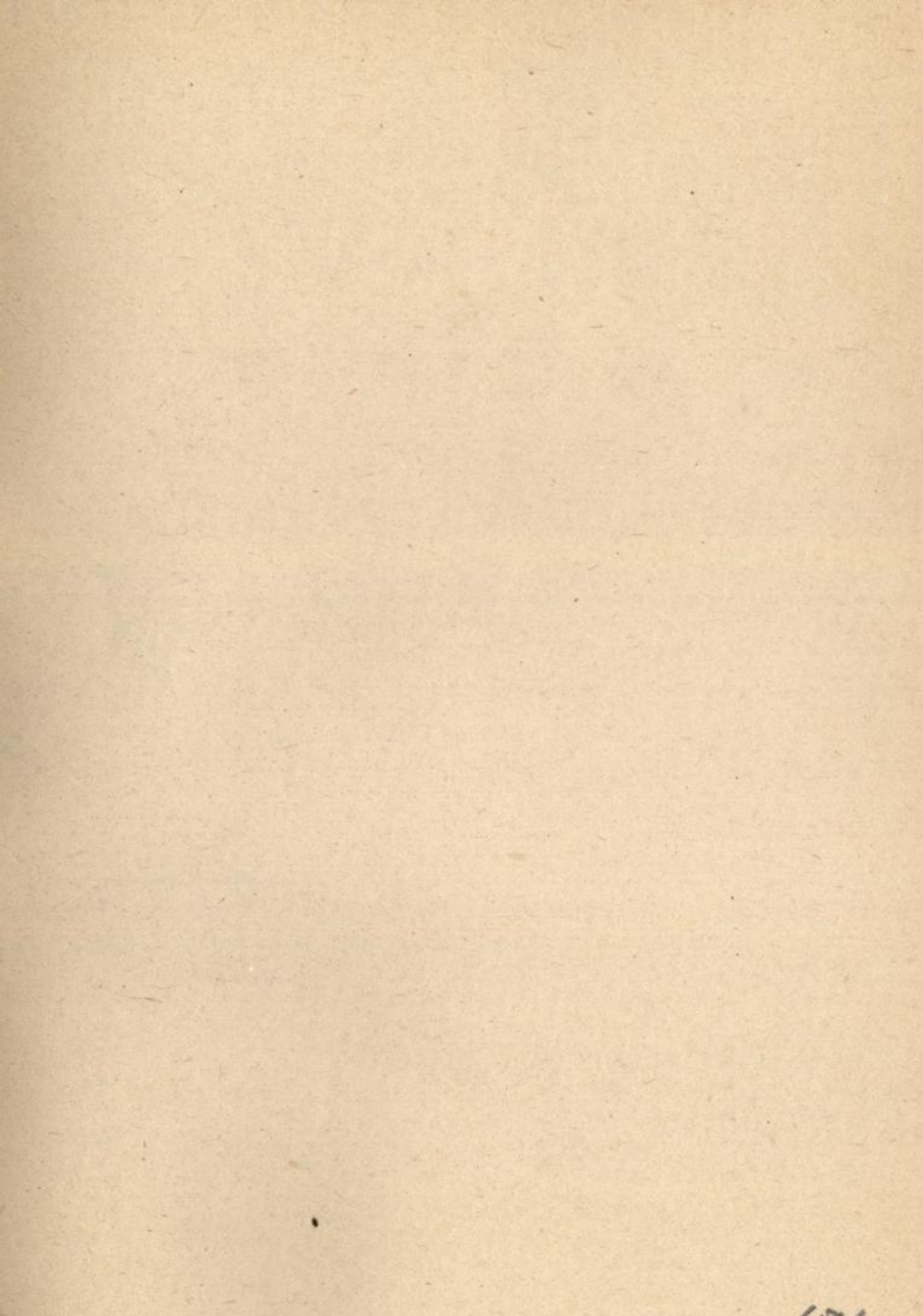
3. Дорофеев В.С., Кара Дамур А. Учет технологической поврежденности бетона при малоцикловых воздействиях//Повышение долговечности и эффективности работы конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений. Материалы международной научно-технической конференции. - Челябинск, 1992. - С. 72-73.

Подл. к печати 2.03.93г. Формат 60x84/16.

Объем 0,5уч.изл. л. 0,75п.л. Заказ № 448. Тираж 100экз.

Гортипография Олесского управления по печати, цех №3.

Ленина 49.



AB 26.863

AB 26.863