

05.23.01  
Ш 904

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

*Минер*

На правах рукописи

ШТЕРН Владислав Оскарович

УДК 624.072.22:656.973.2

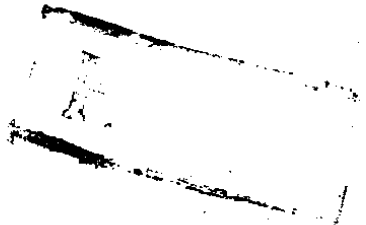
КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМЗИТОЗОЛОБЕТОНА  
И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ НЕГО

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

Челябинск - 1990



Работа выполнена в лаборатории кафедры строительных конструкций Оренбургского политехнического института.

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
КУДРЯВЦЕВ А.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
МУРАШКИН Г.В.  
кандидат технических наук, доцент  
КОЛБАСИН В.Г.

Ведущая организация - Оренбургский проектно-технологический трест "Оргтехстрой"

Защита состоится "17" окт. 1990г. в 15 часов на заседании специализированного совета К 053.13.05 Челябинского политехнического института (454044, Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "4" сент. 1990г.

Ученый секретарь

специализированного совета

кандидат технических наук,

доцент



ТРЕГУЛОВ Г.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 г.г. и на период до 2000 г." в области промышленности строительных материалов ставится задача шире использовать материалы попутной добычи, вторичного сырья и отходы других отраслей производства строительных материалов.

На тепловых электростанциях (ТЭС) страны ежегодно образуется около 100 млн.т золошлаковых отходов, состоящих из 85% золы-уноса и 15% шлака. Однако, в настоящее время используется только лишь 10% этих отходов, остальные зола и шлак лежат мертвым грузом и засоряют земли, а их хранение сопряжено с большими эксплуатационными затратами.

Одно из направлений, по которому может довольно эффективно осуществляться применение золы - это использование ее для замены части цемента и мелкого заполнителя, а также для полной замены мелкого заполнителя в бетонах.

Различными институтами (НИИЭБ, ЛПИ, ДИСИ, ВНИИЖелезобетон, Донецким ПромстройНИИпроектом, СибНИИЭП и многими другими) выполнена большая научно-исследовательская работа по применению золошлаковых отходов в бетонах различных видов и растворах.

Однако широкому применению эффективных конструкций из таких бетонов не позволяют: во-первых, отсутствие в действующих нормах данных о их прочностных и деформативных свойствах и, во-вторых, не изучена возможность применения положения СНиП 2.03.01-84 при расчете изгибаемых керамзитозолобетонных элементов по первой и второй группам предельных состояний. Для решения указанных вопросов актуальность изучения конструктивных свойств керамзитозолобетона очевидна.

Целью диссертационной работы является изучение прочностных и деформативных свойств керамзитобетона на мелком заполнителе из золы ТЭС, а также изучение особенностей работы изгибаемых элементов из такого бетона. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- изучить прочностные и деформативные свойства легкого бетона классов В3,5 - В15 при статической кратковременной нагрузке;

- подготовить предложения по нормированию характеристик керамзитозобетона для норм проектирования: призмочной прочности  $R_b$ , прочности при растяжении  $R_{bt}$ , прочности на сцепление  $\tau_c$ , прочности на срез  $R_{sh}$ , модуля упругости  $E_b$ ;

- экспериментально изучить работу изгибаемых керамзитозобетонных элементов по наклонным сечениям при кратковременном действии нагрузки;

- ввести уточняющие коэффициенты и параметры в методы расчета керамзитозобетонных элементов по предельным состояниям первой и второй групп (применительно к СНиП 2.03.01-84), полученные из экспериментальных данных.

Автор защищает:

- результаты экспериментальных исследований прочностных и деформативных свойств нового вида керамзитобетона классов В3,5 - В15 на мелком заполнителе из золы ТЭС при статических нагрузках;

- предложения по назначению характеристик керамзитозобетона таких как призмочная прочность  $R_b$ , прочность при растяжении  $R_{bt}$ , прочность на сцепление  $\tau_c$ , прочность на срез  $R_{sh}$ , модуль упругости  $E_b$ ;

- предложения по особенностям расчета изгибаемых керамзитозобетонных элементов по предельным состояниям первой и вто-

рой групп на основании экспериментальных данных по свойствам данного вида бетона.

Научную новизну работы составляют:

- экспериментальные данные по свойствам при статических нагрузках нового вида керамзитобетона на мелком заполнителе из золы тепловых электростанций;

- метод прогнозирования прочности керамзитозолобетонных изгибаемых элементов по наклонным сечениям на основе данных по прочности на срез данного вида бетона.

Практическое значение работы:

- на Оренбургских заводах КПД ПСП-1 и ПСП-2 ПСО "Оренбург-гражданстрой" внедрены керамзитозолобетонные конструкции с применением золы тепловой электростанции г.Оренбурга в качестве мелкого заполнителя;

- годовой экономический эффект от внедрения керамзитозолобетона за счет сокращения расхода цемента и кварцевого песка на заводах КПД ПСП-1 и ПСП-2 г.Оренбурга составляет 156 тыс.рублей;

- на основе полученных результатов были составлены также "Временные рекомендации по применению золошлаковой смеси Орской ТЭС в легких бетонах".

Апробация работы. Основные положения работы доложены на научно-технических конференциях молодых специалистов НИИЖБ Госстроя СССР, конференциях в г.г. Владимире, Волгограде, Куйбышеве, Оренбурге, Суздале.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, общих выводов и предложений, списка литературы из 127 наименований и приложения. Она содержит 165 страниц, включая 132 страницы машинописного текста, 26 таблиц и 32 рисунка.

Исследования проведены в лаборатории кафедры строительных

конструкций Оренбургского политехнического института в 1985 - 1989 г.г. под научным руководством старшего научного сотрудника, кандидата технических наук А.А. Кудрявцева (НИИЖБ).

### Состояние вопроса

Исследованиями свойств легких бетонов и изучением особенностей работы изгибаемых элементов из них в разное время занимались Г.А.Бужевич, К.И.Вилков, В.Г.Довжик, А.С.Залесов, И.А.Иванов, Н.А.Корнев, А.А.Кудрявцев, Т.А.Кузьмич, Н.А.Попов, И.Е.Путляев, Н.А.Спивак, Ю.В.Чиненков и многие другие. В настоящее время экономически выгодным оказывается применение зол тепловых электростанций в легких и тяжелых бетонах.

В работах И.С.Бобыка, Н.А.Бродского, А.И.Ларионова, Н.Я.Спивака, В.В.Тихонова, Н.И.Швачко и других отмечается, что при применении зол ТЭС в бетонах снижается расход цемента на 8... 20% и керамзита до 30%. Кроме снижения расхода цемента и керамзита применение золы в бетонах улучшает реологические характеристики бетонной смеси, не ухудшая при этом основных свойств бетона (В.П.Емец, В.М.Медведев, А.М.Сергеев, А.А.Черняк).

В исследованиях Э.Я.Багрия, В.И.Карпенко, В.Н.Завьялова наблюдалось значительное превышение теоретических значений ширины раскрытия нормальных трещин над опытными (в 2... 2,2 раза) в балках с применением золошлаковых смесей. Опытные разрушающие моменты у большинства этих балок несколько выше теоретических (на 6...8%).

Л.Б.Гольденберг, С.Л.Оганесянц указывают, что кроме действия золы как микронаполнителя, каменноугольные зола обладают пуццолановой активностью, способствующей росту прочности бетона. Также зола обладает пластифицирующим эффектом, способствующим повышению связности бетонной смеси (М.Ю.Лещинский).

Технико-экономический эффект определяется не только улучшением технических свойств бетона и экономией цемента и керамзита. Немаловажное значение имеет снижение стоимости бетона, уменьшение массы перевозимых конструкций, а также снижение затрат на строительство и эксплуатацию золоотвалов.

Однако в настоящее время еще существуют ограничения по использованию зол тепловых электростанций в качестве мелкого заполнителя в легких бетонах. Технические ограничения главным образом связаны с недостаточной изученностью деформативно-прочностных свойств бетонов с золой, а также работы конструкций из этих бетонов.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для проведения научно-исследовательской работы были изготовлены балки и вспомогательные образцы из керамзитозолобетона и для сравнения из керамзитобетона на мелком заполнителе из керамзитового песка. Всего было забетонировано балок  $15 \times 30 \times 300$  см - 22 шт., кубов  $10 \times 10 \times 10$  см - 96 шт., призм  $10 \times 10 \times 40$  см - 5 шт., цилиндров диаметром 12 см - 39 шт., призм на "сцепление"  $15 \times 15 \times 10$  см - 39 шт., призм на "срез"  $10 \times 10 \times 30$  см - 39 шт.

Для приготовления бетонной смеси в качестве крупного заполнителя использовался керамзитовый гравий Оренбургского КСМ крупностью 5...20 мм. В качестве мелкого заполнителя в керамзитозолобетоне использовалась зола Сакмарской ТЭС г. Оренбурга и Орской ТЭС, а в керамзитобетоне на керамзитовом песке использовался керамзитовый песок, который получали путем дробления керамзитового гравия.

Прочность при сжатии определялась при испытании кубов размером  $10 \times 10 \times 10$  см и призм  $10 \times 10 \times 40$  см в различном возрасте. Из

полученных данных видно, что с увеличением плотности как правило возрастает прочность бетона при сжатии. При одинаковой прочности при сжатии керамзитобетон имеет меньший расход цемента по сравнению с керамзитобетоном на керамзитовом песке на 5%. С течением времени (250 суток) прочность при сжатии керамзитозобетона классов В5 - В15 возрастает на 17%.

Прочность при растяжении определялась при испытании цилиндров диаметром 12 см и длиной 40 см на осевой разрыв. Полученные опытные данные  $R_{ct}$  для керамзитобетона на золе и на керамзитовом песке оказались близки между собой и незначительно отличались в большую сторону от нормируемых значений для легких бетонов по СНиП 2.03.01-84. Таким образом, зола в качестве мелкого заполнителя в керамзитобетоне не приводит к снижению прочности при растяжении.

Прочность сцепления арматуры с бетоном определяли путем выдергивания арматурного стержня диаметром 12 мм класса А - IV из призмы размером 15x15x10 см, согласно унифицированной методики НИИЖБ. Результаты испытаний свидетельствуют о том, что по прочности сцепления керамзитозобетон и керамзитобетон на керамзитовом песке не уступают тяжелому бетону. При этом прочность сцепления у керамзитозобетона несколько ниже, чем у керамзитобетона на керамзитовом песке.

При исследовании прочности бетона на срез был найден метод прогнозирования прочности элементов по наклонным сечениям на основании данных по прочности того или иного вида бетона на срез. Была применена методика испытаний, предложенная в НИИЖБ. Образцами для испытаний служили призмы размерами 10x10x30 см, в которых при формовании были сделаны углубления. Результаты испытаний на срез показали, что керамзитозобетон имеет такую же прочность



на срез, что и керамзитобетон на керамзитовом песке. Испытания призм на срез и изгибаемых балок по наклонным сечениям подтверждают, что при оценке прочности по наклонным сечениям элементов из новых видов легких бетонов можно использовать указанную методику испытания бетонов на срез. По нашему мнению, если прочность на срез нового вида бетона равна или выше таковой для тяжелого бетона, то расчет по наклонным сечениям можно выполнять по СНиП 2.03.01-84 как для тяжелого бетона.

Модуль упругости легкого бетона определялся на призмах размерами 10x10x40 см. Данные результатов исследований свидетельствуют, что модули упругости керамзитозолобетона и керамзитобетона на керамзитовом песке близки между собой. По сравнению с тяжелым бетоном у рассматриваемых видов бетонов модули упругости ниже почти в 2 раза, а по сравнению с керамзитобетоном на кварцевом песке - на 10...25%.

Предельная сжимаемость определялась при испытании призм размером 10x10x40 см при центральном сжатии. Предельная сжимаемость керамзитобетона на керамзитовом песке находится в пределах  $(200...240) \times 10^{-5}$ ; а керамзитозолобетона -  $(230...280) \times 10^{-5}$ . Повышенная предельная сжимаемость легких бетонов по сравнению с тяжелым бетоном (на 30...70%) оценивается как положительный фактор, благодаря которому сжатая арматура в элементах из таких бетонов перед разрушением будет достигать более высоких напряжений.

Предельная растяжимость определялась при испытании цилиндров диаметром 12 см и длиной 40 см при их осевом растяжении. Предельная растяжимость керамзитобетона на керамзитовом песке находится в пределах  $(20...27) \times 10^{-5}$ ; а керамзитозолобетона -  $(22...32) \times 10^{-5}$ . Эти значения предельной растяжимости несколько

выше, чем у тяжелого бетона. Высокая предельная растяжимость способствует повышению трещиностойкости конструкций.

Коэффициент поперечных деформаций определяли при испытании призм на сжатие, как отношение величины поперечных деформаций к величине продольных деформаций при относительных напряжениях  $\sigma_c/R_c = 0,3$ . Коэффициент поперечных деформаций для керамзитозолобетона и для керамзитобетона на керамзитовом песке в среднем составляет 0,2.

Усадка керамзитозолобетона и керамзитобетона на керамзитовом песке определялась на призмах размерами 10x10x40 см. Наблюдения за усадочными деформациями призм производились в течение одного года. Конечные деформации усадки керамзитозолобетона примерно в 1,5 раза превышают деформации усадки керамзитобетона на керамзитовом песке. Для керамзитозолобетона классов В5 - В15 усадка составляет  $(58 \dots 65) \times 10^{-5}$ .

Ползучесть керамзитозолобетона определялась на призмах размерами 10x10x40 см, загруженных в пружинных установках до напряжения равного  $0,4 R_c$ , а также анализировались результаты испытаний керамзитобетона на керамзитовом песке, проведенных ранее в НИИЖБ и ЦНИИЭПжилища. Ползучесть керамзитобетона на керамзитовом песке незначительно выше таковой для тяжелого бетона (на 20%). Керамзитозолобетон имеет удельные деформации ползучести почти в 1,5 раза превышающие таковые для керамзитобетона на керамзитовом песке.

Все результаты испытаний были статистически обработаны. Максимальные отклонения опытных данных от корреляционных зависимостей для различных характеристик керамзитозолобетона ( $R_{bt}$ ,  $R_{sh}$ ,  $\tau_c$ , ...) составили от 8 до 11%.

Для выявления сохранности арматуры от коррозии в керамзи-

тозолобетоне было забетонировано несколько серий кубов с ребром 10 см, в которые были заделаны арматурные стержни диаметром 6 мм класса А-I с различной толщиной защитного слоя. Некоторые серии кубов хранились в обычном помещении при температуре 21°С и влажности 50...60%, а некоторые - на улице в обычных атмосферных условиях. Эти наблюдения велись в течение двух лет.

По результатам исследования стержней, взятых из кубов, можно заключить, что зола (в частности зола Оренбургской ТЭС) не оказывает никакого побочного влияния на коррозию арматуры.

Прочность керамзитозолобетонных изгибаемых элементов по наклонным сечениям изучалась на балках сечением 15x30 см длиной 3 м. Балки испытывались в возрасте 3-5 месяцев. Испытания проводились на домкратном стенде. Нагрузка от гидродомкрата на балку передавалась через металлическую траверсу в виде двух сосредоточенных сил. Относительный пролет среза при испытании балок был принят 2; 3,2; 4,4.

При испытании балок измерялись деформации бетона и арматуры, раскрытие нормальных и наклонных трещин, а также - прогиб балок. Все балки доводились до разрушения. После разрушения некоторые концы балок испытывались вновь.

Для сравнения с керамзитозолобетонными балками были забетонированы и испытаны керамзитобетонные балки на керамзитовом песке.

Все 22 испытанные балки разрушались по наклонным сечениям. Прочность элементов из керамзитозолобетона и керамзитобетона на керамзитовом песке оказалась немного ниже, чем аналогичных элементов из тяжелого бетона, в то время как между собой прочности элементов из этих материалов оказались примерно равными.

При испытании балок без поперечной арматуры при малых про-

детах среза ( $a = 2h_0$ ) полное разрушение наступало при нагрузках, превышающих нагрузки трещинообразования на 25-50%. При пролетах среза  $a \geq 3,2h_0$  полное разрушение балок наступало при нагрузках, превышающих нагрузки трещинообразования всего лишь на 5-15%, т.е. практически сразу же после появления наклонных трещин.

Была выполнена оценка прочности наклонных сечений по СНиП 2.03.01-84 и по методике А.С.Залесова. Следует отметить хорошую сходимость опытных результатов со значениями, вычисленными по методике А.С.Залесова.

На основании проведенных испытаний балок можно заключить следующее:

1. Для керамзитобетонных элементов без поперечной арматуры с ненапрягаемой арматурой при больших пролетах среза ( $a > 2h_0$ ) несущая способность по наклонным сечениям может быть определена по формуле (76) СНиП 2.03.01-84

$$Q_k = \frac{\varphi_{k2} (1 + \varphi_2 + \varphi_n) R_{sk} b h_0^2}{c}$$

2. Для таких элементов при малых пролетах среза ( $a \leq 2h_0$ ) эта формула существенно недооценивает несущую способность элементов по наклонным сечениям.

3. При определении усилия  $Q_k$  для керамзитобетонных элементов по СНиП 2.03.01-84 коэффициент  $\varphi_{k2}$  следует принимать равным 1,5 (вместо  $\varphi_{k2} = 2$  - для тяжелого бетона).

4. Несущая способность по наклонным сечениям керамзитобетонных балок не только не уступает несущей способности керамзитобетонных балок на керамзитовом песке, но даже несколько превышает.

В данной диссертационной работе изучалась также трещино-

стойкость керамзитозолобетонных изгибаемых элементов по нормальным и наклонным сечениям. Для сравнения изучалась трещиностойкость керамзитобетонных на дробленом керамзитовом песке изгибаемых элементов.

Для свободно опертых изгибаемых балок момент трещинообразования по нормальным сечениям с учетом усадки бетона определяется по формуле

$$M_{cr} = R_{ct,scr} W_{pre} - \sigma_{sl} A_s (e_0 + r).$$

Опытные значения моментов трещинообразования как для керамзитозолобетонных, так и для керамзитобетонных на керамзитовом песке балок, оказались в несколько раз выше их теоретических значений с учетом усадки бетона. Это объясняется тем, что на усадку бетона влияет масштабный фактор, а также условия хранения образцов. Повышенная усадка керамзитозолобетона и керамзитобетона на керамзитовом песке по сравнению с керамзитобетоном на кварцевом песке в железобетонных конструкциях (балках) проявляется не так заметно, как в бетонных призмах, на что, кстати, и указывают опытные значения моментов трещинообразования по нормальным сечениям. Однако в целях безопасности, пока нет достаточной изученности керамзитозолобетона, при расчете конструкций на трещинообразование по нормальным сечениям из такого бетона следует учитывать усадку бетона.

Во время испытания балок после образования нормальных трещин на каждой ступени нагружения производился замер ширины раскрытия этих трещин. Эти опытные данные во всех балках сравнивались с теоретическими значениями ширины раскрытия нормальных трещин, определенными по формуле (144) СНиП 2.03.01-84. Значения опытных данных несколько ниже, чем теоретические значения. Отношение опытной ширины раскрытия нормальных трещин к

теоретической для керамзитозолобетонных балок составило 0,65 ... 0,81, а для керамзитобетонных на керамзитовом песке балок - 0,70 - 0,88; т.е. опытная ширина раскрытия нормальных трещин для керамзитозолобетонных балок при прочих равных условиях несколько ниже, чем для керамзитобетонных балок на керамзитовом песке.

Испытания балок из керамзитозолобетона и керамзитобетона на керамзитовом песке показали, что наклонные трещины в этих балках с течением времени чрезмерно раскрывались до 1,5 - 2,5 мм, после чего происходило разрушение балок по критической наклонной трещине. Поэтому при проектировании керамзитозолобетонных конструкций по наклонным сечениям для них должен быть определен критерий трещинообразования с учетом максимального пролета среза  $\alpha = 4,4h_0$ . Для обычных ненапряженных элементов приближенным критерием является

$$Q_{срз}^{th} \leq \gamma_{сз} (1 + \gamma_f + \gamma_m) R_{сз} b h_0,$$

где коэффициент  $\gamma_{сз}$  для керамзитозолобетона следует принимать равным 0,4.

Прогибы балок определяли при испытании последних на действие поперечных сил на домкратном стенде. При значениях 0,55 и 0,7 от опытного разрушающего момента были определены значения теоретических прогибов для всех балок. Значения опытных прогибов почти у всех балок были немного меньше теоретических прогибов, определенных по СНиП.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Доказана возможность и экономическая целесообразность применения золы тепловых электростанций в качестве мелкого заполнителя для получения легких бетонов классов В3,5 - В15.

2. Полная замена в керамзитобетоне кварцевого песка на золу ТЭС приводит к снижению его плотности на 15% без повышения расхода цемента. Полная замена керамзитового песка на золу несколько повышает его плотность (на 10%), но способствует снижению расхода цемента до 20%. При этом бетон на мелком заполнителе из золы тепловых электростанций практически не отличается по прочностным свойствам от традиционного керамзитобетона тех же классов. Изменяются лишь деформативные свойства: повышаются предельная сжимаемость и растяжимость примерно на 20%, возрастают усадка и ползучесть в 1,5 раза.

3. Изгибаемые элементы из керамзитозолобетона и керамзитобетона на дробленом керамзитовом песке с плотностью  $\rho \leq 1300$  кг/м<sup>3</sup> имеют пониженную по сравнению с тяжелым бетоном прочность по наклонным сечениям.

Расчет конструкций из керамзитозолобетона по наклонным сечениям следует производить в соответствии с действующими нормами, как для тяжелого бетона. При этом в формуле (76) СНиП 2.03.01-84 коэффициент  $\gamma_{b2}$ , учитывающий влияние вида бетона, для керамзитозолобетона следует принимать равным 1,5 (вместо  $\gamma_{b2} = 2$  - для тяжелого бетона).

4. При расчете трещиностойкости керамзитозолобетонных конструкций с обычной ненапрягаемой арматурой следует учитывать повышенное значение усадки керамзитозолобетона согласно п.3.11 данной диссертации.

5. Расчет прогибов конструкций из керамзитозолобетона следует выполнять по СНиП 2.03.01-84 как для элементов из тяжелого бетона с учетом соответствующих значений  $R_b$ ,  $R_{ct}$  и  $E_b$ , принимаемых как для обычного керамзитобетона на керамзитовом песке.

6. На основании полученных результатов исследований можно рекомендовать керамзитозолобетон для изготовления широкой номенклатуры бетонных и железобетонных конструкций взамен обычного керамзитобетона и керамзитобетона на мелком заполнителе из керамзитового песка. При замене в наружных стеновых панелях кварцевого или керамзитового песка на золу перепроектирование их практически не требуется. Однако замена традиционного песка на золу в плитах перекрытий и внутренних несущих стенах требует их перепроектирования с учетом повышенной ползучести и усадки бетона, как это сказано в главе 3 диссертации.

Расчет и проектирование бетонных и железобетонных конструкций из керамзитозолобетона следует выполнять в соответствии с главой СНиП 2.03.01-84 "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования", а также с учетом дополнительных требований, приведенных в данной диссертационной работе.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Кудрявцев А.А., Штерн В.О. Использование золы ТЭС для производства конструкций из легкого бетона // Энергетическое строительство. - 1989. - №1. - С.28-29.

2. Штерн В.О. Прочностные и деформативные свойства керамзитозолобетона классов В7,5...В15 // Повышение качества и эффективности применения бетона и железобетонных изделий и конструкций. - М.: НИИЖБ, 1988. - С.168-172.

3. Штерн В.О., Таурит Е.Е. Прочность и трещиностойкость керамзитозолобетонных балок мостов по наклонным сечениям // Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР: Тез. докл. Республиканской региональной научно-технической конф. - Владимир, 1987. - С.140.



4. Штерн В.О., Таурит Е.Б. Конструкционные свойства керамзитозолобетона // Пути совершенствования эксплуатационных качеств автомобильных дорог и повышения безопасности движения: Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конф. - Волгоград, 1989. - С.35-36.

5. Штерн В.О. Деформативно-прочностные свойства керамзитозолобетона (КЗБ) // Использование отходов промышленности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог: Тез. докл. Республиканской региональной научно-технической конф. - Суздаль, 1989. - С. 106-107.

*Миня*