

Восточно-Казахстанский государственный технический университет  
им. Д.Серикбаева

УДК 624.071.32

ЛЮБЧЕНКО ВАЛЕНТИНА ГЕННАДЬЕВНА

Оценка выносливости внецентренно сжатых трубобетонных стержней  
строительных конструкций

специальность 6N0729 - Строительство

**Реферат диссертации на соискание академической степени  
магистра технических наук по специальности «Строительство»**

Научный руководитель:  
Кандидат технических наук, профессор  
Кусябгалиев С.Г.

Усть-Каменогорск, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Трубобетонные конструкции включают в себя основные положительные качества железобетонных и, кроме этого, обладают некоторыми свойствами, присущими только ему. Например, такими как увеличение прочности бетона до 1,8 раза для круглых и до 1,45 раза для прямоугольных сечений, а следовательно и увеличение несущей способности в целом. Все это приводит к уменьшению сечения элементов конструкций, к уменьшению расхода составляющих трубобетон материалов.

Использование стальных труб при изготовлении трубобетонных конструкций, избавляет от необходимости устройства опалубки, изготовления арматурного каркаса, закладных деталей и т.д. Отсутствие арматуры внутри трубы позволяет производить при механическом уплотнении более высококачественную укладку жестких бетонных смесей, что положительно сказывается на прочностных характеристиках бетона и его ползучести.

Отсутствие необходимости изготовления арматурных каркасов и опалубки дало широкую возможность изготовления трубобетонных конструкций, как на заводских условиях, так и на строительной площадке. Изготовление трубобетонных элементов на месте строительства с использованием местных материалов, составляющих бетон, при соблюдении необходимой технологии заполнения труб бетоном ведет к значительной экономии стоимости конструкций и транспортных расходов.

**Актуальность темы:** Проведенные исследования *двухшарнирных* трубобетонных арок загруженных симметричной кратковременной нагрузкой доказали целесообразность их применения, однако реальные схемы загрузки далеки от симметричных. Дополнительные затруднения связаны с появлением неучтенных напряжений из-за изменения геометрии арок под действием нагрузок, осадок опор, температурных деформаций, ползучести и усадки бетона, или учета этих факторов в комплексе. Это характерно для всех типов арок, в том числе и для трубобетонных.

Проектирование зданий и сооружений на современном этапе невозможно без учета динамических воздействий. Это динамические нагрузки, вызываемых кранами, и другим технологическим оборудованием; также необходимо учитывать динамическое действие ветра и воздействия сейсмической нагрузки; обеспечения допустимого уровня колебания конструкций при точных технологических процессах. Поэтому при проектировании конструкций наряду со статической нагрузкой необходимо также учитывать динамические воздействия.

**Цель работы:** Настоящая работа ставит целью исследование выносливости внецентренно сжатых трубобетонных стержней строительный конструкций на примере двухшарнирных трубобетонных арок прямоугольного сечения с учетом динамического нагружения.

Экспериментальные исследования дают наиболее обширные и фактические данные о напряженно-деформированном состоянии конструкций. Методика экспериментального исследования заключается в разработке рабочих чертежей трубобетонной арки и испытательного стенда, схемы опирания и приложения внешней нагрузки, порядок и этапы загрузки и разгрузки.

Для испытания были изготовлены трубобетонные арки, с пятью точками перегиба. Для имитации работы арок в системе каркаса здания произведено испытание блока, состоящего из двух арок, соединенных связями и установленных на шарнирные опоры.

**Задачи исследования:** Основными задачами экспериментального исследования являются:

- определение влияния динамических нагрузок на прочность трубобетонного элемента;
- определение влияния динамических нагрузок на устойчивость и выносливость трубобетонного элемента;
- проверка теоретических исследований.

**Научная новизна работы:** оценка выносливости внецентренно сжатого трубобетонного стержня на примере трубобетонной арки прямоугольного сечения, при динамической нагрузке.

**Практическая значимость.** Использование результатов экспериментального исследования при проектировании трубобетонных элементов строительных конструкций.

**Апробация работы и публикации:** Основные положения диссертационной работы обсуждались и получили одобрение на Международной научной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030»», г. Караганда (2009г.), на межвузовской студенческой научной конференции «Студент и научно-технический прогресс», г. Караганда (2009г.), IX Республиканской научно - технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых ВКГТУ Д. Серикбаева, г.Усть-Каменогорск (2009г.), заседаниях кафедры «Строительство зданий, сооружений и транспортных коммуникаций» ВКГТУ им. Д. Серикбаева (2009-2010г.г.).

По теме диссертации опубликовано 3 печатных работы.

**На защиту выносятся:**

- анализ проведения экспериментального исследования двухшарнирных трубобетонных арок прямоугольного сечения.
- *рекомендации по применению*

**Структура и объем диссертации:** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, которые изложены на 70 страницах компьютерного набора, иллюстрируется 20 рисунками и 7 таблицами, списка использованных источников из 100 наименований и 1 приложения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении отражены актуальность исследования выносливости трубобетонных конструкций, использования экспериментального метода исследований.

**В первой главе** отражены общие сведения о конструкциях из стальных труб, заполненных бетоном. Рассмотрены особенности трубобетонных конструкций и предпосылки к их применению.

К настоящему времени решение вопроса применения трубобетона включает:

1. Результаты исследований теории применения трубобетона в строительстве, экспериментальных работ, методов расчетов, инженерных и проектных решений конструкций из трубобетона. опубликованных в более 300 трудах и патентах, около полусотни кандидатских, десятке докторских диссертаций и более 30 монографий.

2. Практический опыт применения в Казахстане, и странах СНГ трубобетонных конструкций в условиях значительных несущих и изгибаемых нагрузок при строительстве мостов, промышленных цехов, спортивных комплексов, зданий и сооружений, а также жилья с прекрасной экономической эффективностью.

3. Не ограниченную материально-техническую базу реализации трубобетона для массового строительства жилья – наличие необходимого сортамента стальных труб и высокопрочных бетонов, отечественного оборудования и комплектующих.

4. Существенный прогресс последних лет в Казахстане по получению и подаче на большие высоты бетонных смесей с высокой подвижностью для высокопрочных, быстротвердеющих и напрягающих бетонов.

5. Выбор трубобетонных конструкций определяется методом расчета и может быть применен для любых зданий и сооружений. Трубобетон обладает исключительно высокой несущей способностью при небольших поперечных сечениях колонн, являясь прекрасным примером оптимального сочетания выдающихся способностей металла и бетона. При этом стальные трубы выполняют роль несъемной опалубки при бетонировании, обеспечивая как продольное, так и поперечное армирование бетона, ею воспринимаются нагрузки по всем направлениями под любым углом. Бетон в трубобетоне находится в условиях всестороннего сжатия и в таком состоянии выдерживает напряжение, существенно превышающее его призмную прочность. Особенно эффективны трубобетонные конструкции при больших напряжениях с относительно малыми эксцентриситетами.

А также рассмотрены примеры строительства с применением трубобетонных элементов строительных конструкций в Казахстане.

**Во второй главе** приводится методика расчета трубобетонных стержней.

При приложении сжимающей силы с эксцентриситетом трубобетонный стержень работает как внецентренно сжатый, а при одновременном приложении продольной осевой силы и поперечной нагрузки, вызывающей изгиб, как сжато-изогнутый. Хотя, в том и другом случае, по сечению развиваются напряжения одинакового вида, вызванные продольной силой  $P$  и моментом  $M$ , работа стержня в этих случаях несколько отличается, главным образом в предельном состоянии при малых гибкостях. Однако, в целях упрощения практических методов расчета (в небольшой запас), сжато-изгибаемые стержни в критическом состоянии приравняются к внецентренно сжатым, имеющим эксцентриситет.

При внецентренном сжатии с самого начала загрузки помимо продольной деформации возникает изгиб стержня (рисунок 1). Поэтому, расчет таких стержней следует проводить по деформированной схеме.

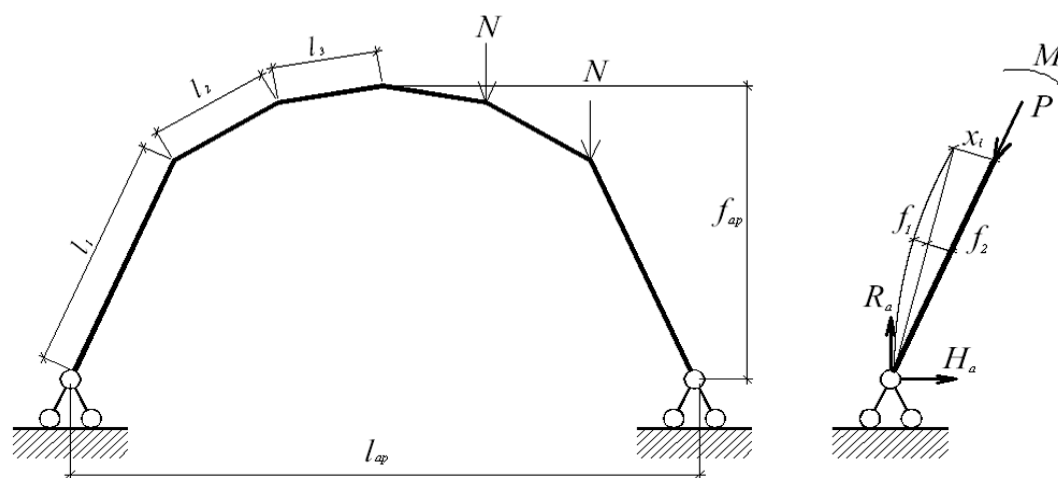


Рисунок 1 Расчетная схема арки

Для определения устойчивости исследуется несущая способность внецентренно сжатого трубобетонного стержня при кратковременном нагружении сжимающими силами с одинаковыми эксцентриситетами их приложения.

Главный вектор и главный момент эпюры нормальных напряжений в среднем сечении относительно оси, проходящей через центр тяжести, определяется из соотношений:

$$P_{BH} = \int_A \sigma \cdot dA ; \quad M_{BH} = \int_A \sigma \cdot z \cdot dA \quad (1)$$

где  $z$  – расстояние от элементарной площадки до центра тяжести сечения;  
 $A$  – площадь сечения стержня.

Также рассмотрена методика расчета трубобетонных стержней на выносливость. Динамические нагрузки на сооружение характеризуются

настолько быстрым изменением во времени их величины, направления или места приложения, что вызывают колебания сооружения, которые необходимо учитывать при его расчёте. Таковы нагрузки, возникающие при работе машин с неуравновешенными движущимися массами, при ударах массивных тел, при землетрясениях и взрывах и т.д. Колебательный характер имеют не только перемещения точек сооружения, но и внутренние усилия и напряжения в его элементах.

Определение ожидаемых амплитуд перемещений, внутренних усилий и напряжений в сооружении при его колебаниях под действием динамической нагрузки (при вынужденных колебаниях) и сравнение их с допустимыми значениями составляют основное содержание динамического расчёта сооружения. Допустимые значения амплитуд внутренних усилий обусловлены требованиями прочности и долговечности строительных конструкций, а значения амплитуд скоростей и ускорений колебаний зданий и сооружений, в которых находятся люди или размещено производство с точной технологией, — требованиями безвредного влияния колебаний на здоровье людей и на качество выпускаемой продукции.

Общий метод расчета на прочность при действии динамической нагрузки основан на известном теоретической механики принципе Даламбера, согласно которому всякое движущееся тело можно считать находящимся в состоянии мгновенного равновесия, если к действующим на него внешним силам можно приложить силы инерции. Силой инерции называется сила, равная произведению массы тела на его ускорение и направленная противоположно ускорению.

В тех случаях динамического нагружения, когда известны силы инерции, определение внутренних усилий производится также, как при статическом приложении нагрузки, - с помощью метода сечений и последующего составления уравнений равновесия.

Расчет конструкции на выносливость следует производить на действие нагрузок, устанавливаемых согласно требованиям СНиП по нагрузкам и воздействиям.

Расчет на выносливость производят по формуле

$$\sigma_{max} \leq \alpha R_v \gamma_v \quad (2)$$

где  $\sigma_{max}$  – наибольшее по абсолютному значению напряжение в рассчитываемом элементе, вычисленное по сечению нетто без учета коэффициента динамичности и коэффициентов  $\psi_c, \psi_b$ .

$R_v$  – расчетное сопротивление усталости, в зависимости от временного сопротивления стали;

$\gamma_v$  – коэффициент, учитывающий количество циклов и нагружений  $n$ ;

$\alpha$  – коэффициент, зависящий от вида напряженного состояния и коэффициента асимметрии напряжений.

В третьей главе рассмотрены характеристики исходных материалов и методы экспериментальных исследований.

Для эксперимента были изготовлены трубобетонные арки, с пятью точками перегиба, размещенными так, чтобы горизонтальные проекции участков были равны между собой по 500 мм. Пролет арок принят равным 3000 мм, стрела подъема 1500 мм, высота сечения 100 мм, ширина сечения 80 мм и толщина стальной оболочки принята равной 2 мм.

На рисунке 2 приведена конструкция экспериментальных арок. Арки собирались из двух полуарок, состоящих в свою очередь из трех гнутосварных прямолинейных элементов. Поперечное сечение арки показано на рисунке 3. Соединение элементов осуществлялось при помощи накладок. Все стальные образцы изготовлены на Усть-Каменогорском заводе металлоконструкций акционерного общества "Имсталькон" из одной партии стального проката. Одновременно были изготовлены четыре плоских стальных образца для испытания на растяжение.

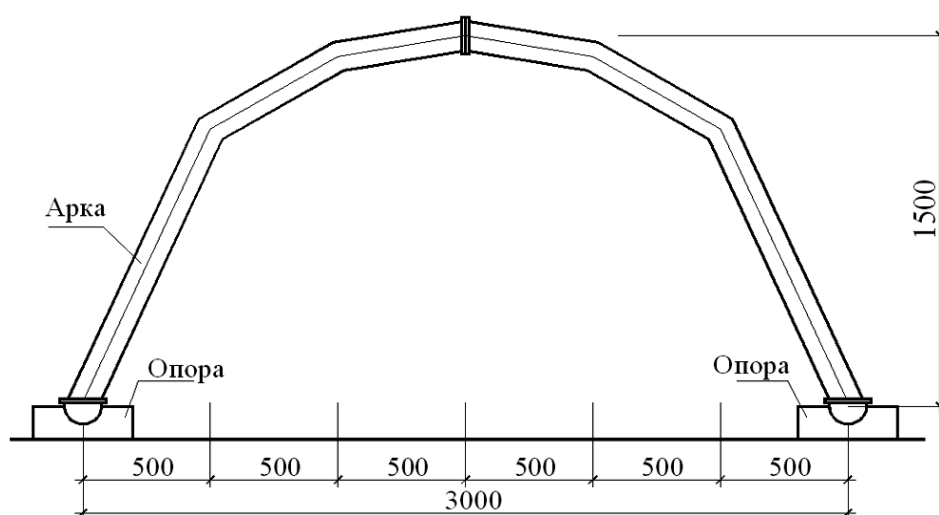


Рисунок 2 Конструкция арки

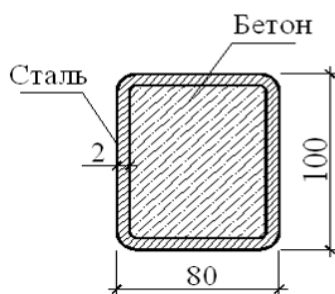


Рисунок 3 Поперечное сечение арки

Полуарки заполнялись в вертикальном положении через воронку с последующим вибрированием. Для обеспечения единообразия прочностных характеристик бетона в трубе и получения бетона класса В20, использовался бетон с подобранным составом. Заполнение полуарок бетоном было осуществлено в региональном исследовательском центре ВКГТУ города Усть-Каменогорска.

Одновременно с заполнением полуарок бетоном были изготовлены шесть стандартных кубиков размером 100x100x100 мм.

Для определения механических характеристик материалов трубобетонных арок испытаны опытные образцы стали и бетона.

Испытания трубобетонных арок проводились в региональном исследовательском центре Восточно-Казахстанского государственного технического университета. Для загрузки арок статической нагрузкой применялся грузовой платформа. Для создания динамической нагрузки использовалась вибромашина.

Загружение производилось по расчетной схеме двухшарнирной арки, нагруженной двумя равными вертикальными силами и динамической нагрузкой. Расчетная схема арки показана на рисунке 4.

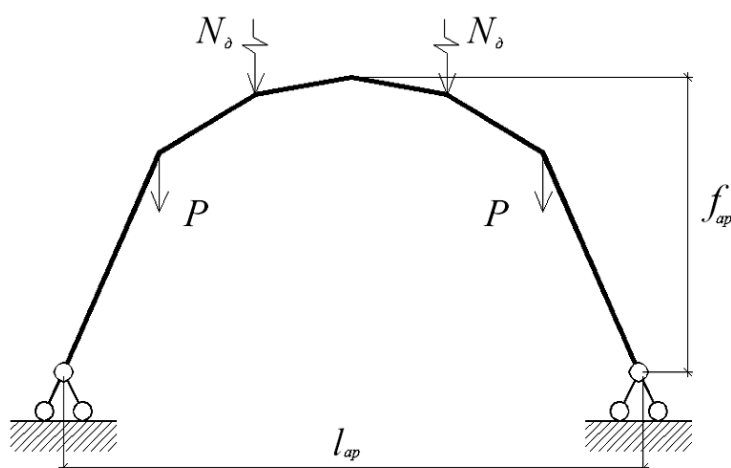


Рисунок 4 Расчетная схема испытательной установки

В соответствии с расчетной схемой для испытания арок была использована испытательная установка, показанная на рисунках 5 и 6.

Арка устанавливалась на шарнирные опоры. Нагрузка на арку передавалась через грузовую платформу.



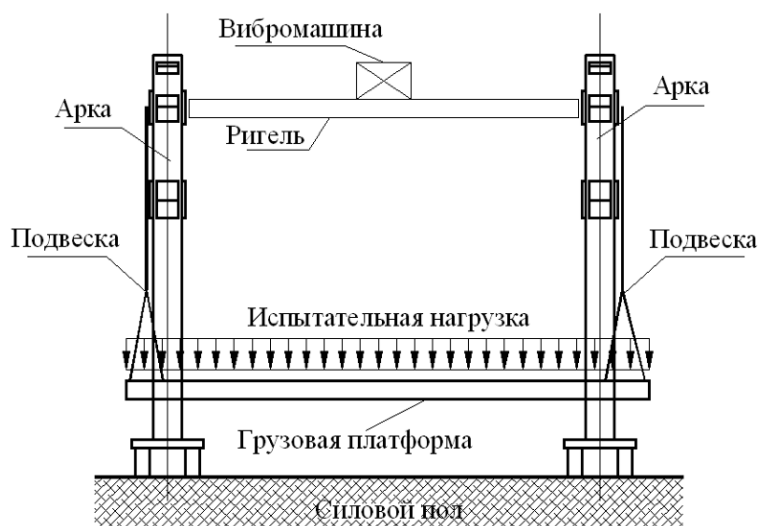


Рисунок 5 Схема испытательной установки из плоскости действия момента

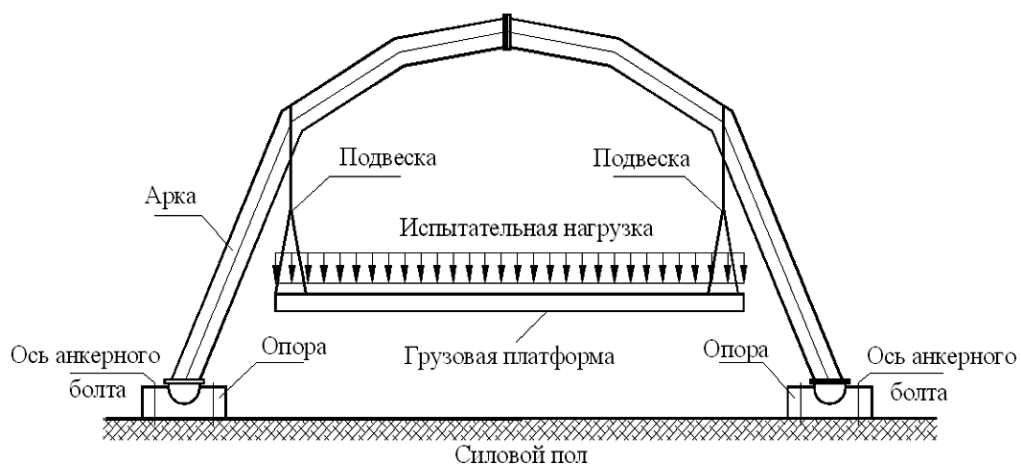


Рисунок 6 Схема испытательной установки в плоскости действия момента

Арки испытывались в виде пространственных конструкции, раскрепленных из плоскости при помощи связей, имеющих шаровые шарниры в месте соприкосновения с аркой.

Для определения критических нагрузок, вызывающих потерю устойчивости, арки загружались до полной потери несущей способности. Нагружение экспериментальных арок осуществлялось ступенями, равными 10 процентов от предполагаемой критической нагрузки. Ступень загрузки принята равной 5 кН. После каждого загрузки для стабилизации деформаций делалась пауза в течение 15 минут, после чего снимались отчеты по приборам. При достижении, равных, ступень нагружения  $1.11 \cdot 10^{-3}$ , уменьшалась до 2,5 кН, а продольными деформациями стальной оболочки предельных деформаций упругости выдержка увеличивалась до полного затухания роста деформаций. За критическую экспериментальную нагрузку, характеризующую предельное состояние трубобетонной арки,

принималась нагрузка, при которой начинался интенсивный рост прогибов и деформаций.

Схема расположения измерительных приборов и тензорезисторов экспериментальной арки показана на рисунке 7.

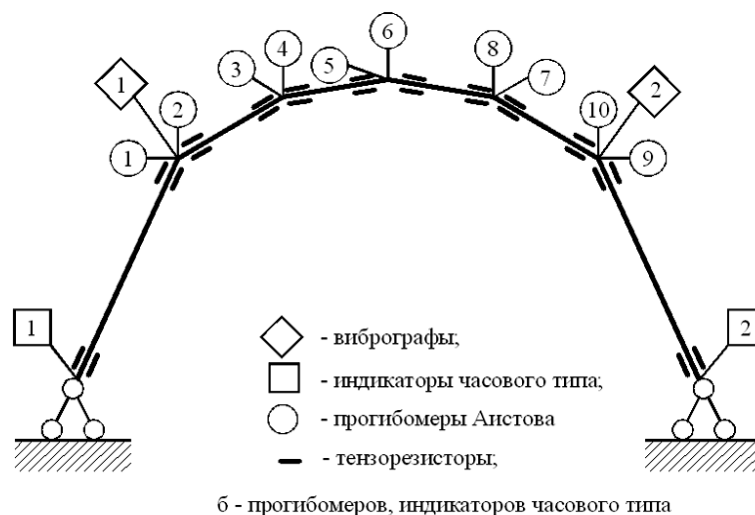


Рисунок 7 Схема расположения измерительных приборов

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментального исследования, сравнение теоретических и экспериментальных данных. Приведен пример расчета элемента трубобетонной арки.

Основным результатом экспериментального исследования являются величина критической нагрузки, при которых трубобетонная арка теряла устойчивость.

Изучение поведения арки до критического состояния позволяет выявить опасные сечения, т.е. сечения, где деформации близки к предельным. Это дает возможность в целесообразных пределах применять конструктивные решения, связанные с изменением сечения и т.п.

Величины перемещений деформированной оси арки влияют на величину критической нагрузки. Они могут увеличивать, либо уменьшать ее в зависимости от того, приближается ли деформированная ось к условной линии нулевого давления или удаляется от нее. Определение перемещений позволяет не только более точно определять критические нагрузки и напряженно-деформированное состояние в сечениях арки, но и дает широкую возможность для оптимизации очертания ее оси.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сформулировать следующие основные выводы.

1 На основании проведенных, исследований предложен новый вид строительных конструкций - двухшарнирные трубобетонные арки прямоугольного сечения.

2 Разработана методика исследования устойчивости и напряженно-деформированного состояния двухшарнирных трубобетонных - арок, учитывающая деформированное состояние ее оси.

3 Получены опытные данные по величинам критических нагрузок и напряженно-деформированному состоянию двухшарнирных трубобетонных арок.

4 Предложены практические рекомендации по изготовлению и применению двухшарнирных трубобетонных арок.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

1 Любченко В.Г., Кенетбаев Б.С., Кусябгалиев С.Г. Стенд для испытания трубобетонной арки при динамической нагрузке. //Сборник трудов межвузовской студенческой научной конференции «Студент и научно-технический прогресс». – Караганда, 2009. С.247-248.

2 Любченко В.Г., Кенетбаев Б.С., Кусябгалиев С.Г. Экспериментальное исследование трубобетонной арки при динамической нагрузке. // Труды Международной научной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030»». Выпуск 2. – Караганда, 2009. С.370-372.

3 Любченко В.Г., Кенетбаев Б.С., Кусябгалиев С.Г. Методика экспериментального исследования трубобетонной арки прямоугольного сечения при динамической нагрузке. // Материалы IX Республиканская научно - техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых: «Творчество молодых – инновационному развитию Казахстана», ВКГТУ, г.Усть-Каменогорск, 2009г. С.40-42.

### **АННОТАЦИЯ**

к магистерской диссертационной работе Любченко Валентины Геннадьевны  
на тему: «Оценка выносливости внецентренно сжатых трубобетонных  
стержней строительных конструкций»

6N0729 – Строительство

Настоящая работа ставит целью исследование выносливости внецентренно сжатых трубобетонных стержней строительных конструкций на примере двухшарнирных трубобетонных арок прямоугольного сечения с учетом динамического нагружения. Приведен метод расчета несущей способности статически неопределимых сталебетонных строительных конструкций с учетом физической и геометрической нелинейности нагруженных динамической нагрузкой.

#### ANNOTATION

for the master's thesis of Lyubchenko Valentina Gennadievna on the following subject: «Assessment of endurance eccentrically compressed concrete filled steel tubular rods building constructions»  
6N0729 – Construction

The present work aims to analysis fatigue of eccentrically compressed concrete filled steel tubular rods building structures on the example concrete filled steel tube hinged arches of rectangular cross-section view of dynamic loading. A calculation method of load-carrying capacity of statistically indefinable steel-aggregate granolithic concrete constructions with consideration of physical load and geometric nonlinearity at dynamic load is given.

«Құрылыс құрылымдарының патенттен тыс сығылатын құбырбетон талшықтарының шыдамдылығын бағалау» – атты Любченко Валентина Геннадьевнаның магистерлік диссертациялық жұмысқа

#### АННОТАЦИЯ

6N0729 - Құрылыс

Бұл жұмыстың мақсаты құрылыс құрылымдарының центрден тыс сығылатын құбырбетон стержіндерін бағалау динамикалық жүктемеленген қимасы тікбұрышты екітопсалы құбырбетон аркасына мысал ретінде келтірілген. Физикалық және геометриялық сызықты емес болат бетонды құрылыс конструкцияларының динамикалық жүктеме кезіндегі статикалық анықталмаған көтергіш қабілетін есептеу тәсілі келтірілген.