

На правах рукописи

АВТАХОВ ЗУЛЬФАТ ФАРИТОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
БАЛОЧНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ**

Специальность 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Уфа – 2004

Работа выполнена на кафедре «Сопротивление материалов и строительная механика» Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Быков Леонид Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Азметов Хасан Ахметзиевич;

кандидат технических наук, доцент
Кантемиров Игорь Финсурович.

Ведущая организация ООО «Баштрансгаз».

Защита состоится «5» марта 2004 года в 11-00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан «4» февраля 2004 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Матвеев Ю.Г.

Актуальность проблемы. В настоящее время в России эксплуатируется более 200 тысяч километров трубопроводов различного диаметра, по которым транспортируются нефть, газ и продукты их переработки. Магистральные трубопроводы прокладываются в различных природно-климатических и гидрогеологических условиях, пересекая при этом большое количество естественных и искусственных препятствий. Как показывает многолетний опыт эксплуатации, подводные переходы при траншейной их прокладке зачастую оказываются не столь надежными и являются дорогими, при этом основная часть затрат приходится на текущие обследования и дальнейшие работы по ликвидации оголений, провисаний трубопроводов и проведение берегоукрепительных мероприятий. Стоимость производства работ методами наклонно-направленного бурения и микротоннелирования, получившими в последние годы широкое признание, на 40-50% выше, чем при траншейном способе. Оба метода достаточно трудоемки и имеют немалые ограничения на производство работ.

Таким образом, не всегда целесообразно использовать традиционный заглубленный способ прокладки, а зачастую проще и дешевле проложить трубопровод поверху, возводя надземные трубопроводные переходы. Это достаточно ответственные сооружения, поскольку нередко находятся в сложных эксплуатационных условиях. Их основными достоинствами являются: возможность визуального контроля за состоянием трубопровода и опор; безопасность и надежность эксплуатации трубопровода при прохождении трассы в сложных гидрогеологических условиях; отсутствие необходимости ведения строительно-монтажных работ в русле реки, что важно с точки зрения экологической безопасности и пр.

При прокладке трубопроводов различного назначения около 90% препятствий встречаются шириной от 10 до 100 м, для их пересечения наиболее рациональными являются балочные трубопроводные переходы, от эффективности использования которых зависит работоспособность линейной части трубопроводных магистралей в целом. Под эффективностью в данном случае понимается более полная реализация прочностных свойств материала, получение

конструкций, обладающих высокими эксплуатационными и строительными качествами.

Поэтому проблема повышения эффективности использования балочных трубопроводных переходов является достаточно актуальной проблемой трубопроводного транспорта, решение которой имеет немаловажное значение.

Цель работы – повышение эффективности использования балочных трубопроводных переходов путем разработки новых, улучшения существующих конструкций и совершенствования методик их расчета.

Основные задачи исследования:

- произвести анализ существующих конструктивных решений надземных трубопроводных переходов, методов их расчета и разработать классификацию переходов по конструктивным признакам;
- разработать новую конструкцию надземного трубопроводного балочного перехода с поддерживающими элементами и методику его расчета;
- на экспериментальной основе исследовать напряженно-деформированное состояние и провести анализ работоспособности трубопроводного перехода при действии статической нагрузки;
- исследовать влияние вертикальной подвижки опор на напряженное состояние многопролетных балочных трубопроводных систем и рассмотреть контактное взаимодействие трубы с опорной конструкцией при реализации рационального высотного положения.

На защиту выносятся теоретические обобщения и классификация надземных трубопроводных переходов; конструктивное решение и методика расчета надземного трубопроводного балочного перехода с поддерживающим элементом в виде фермы; рекомендации по уточнению существующей расчетной методики балочных трубопроводных переходов.

Научная новизна:

1) классификация надземных трубопроводных переходов, куда в отличие от ранее существующих внесена дополнительно подгруппа по возможности регулирования напряжений и введен новый класс по конструктивным формам;

2) экспериментально обоснованная новая конструкция трубопроводного балочного перехода с поддерживающим элементом в виде фермы и методика расчета ее напряженно-деформированного состояния;

3) рекомендации по уточнению существующей расчетной методики балочных трубопроводных переходов с учетом влияния высотного положения опор и контактного взаимодействия их с трубой;

4) новая опорная конструкция балочного трубопроводного перехода для реализации рационального, с точки зрения равнопрочности, высотного положения.

Практическая ценность и реализация работы

На основании научных результатов, полученных в работе, разработана инструкция предприятия для МУП «Уфимское предприятие тепловых сетей» «Руководство по проектированию надземных трубопроводных переходов с поддерживающими элементами в виде ферм». Результаты исследований влияния высотного положения опор на напряженное состояние балочных систем трубопроводов внедрены отделом капитального ремонта магистральных продуктопроводов Уфимского ПО ОАО «Уралтраснефтепродукт».

Апробация работы

Основные результаты работы поэтапно докладывались на 49-й, 50-й, 53-й, 54-й научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых Уфимского государственного нефтяного технического университета (г. Уфа, 1998, 1999, 2002, 2003 г.); межрегиональной научно-методической конференции «Проблемы нефтегазовой отрасли» (Уфа, 2000 г.); межрегиональной молодежной научной конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2002», посвященной 35-летию Ухтинского государственного технического университета (Ухта, 2002 г.); Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 50-летию с начала подготовки специалистов трубопроводного транспорта в УНИ-УГНТУ (Уфа, 2002 г.); VI международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России» (Уфа, 2002 г.); между-

народной научно-технической конференции «Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра» (Уфа, 2002 г.).

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано 11 работ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и списка литературы включающего 137 наименований и приложений. Содержание работы изложено на 129 страницах машинописного текста, включая 51 рисунок и 7 таблиц.

Основное содержание работы

Во введении показана актуальность выбранной темы диссертации, приводится общая характеристика работы, сформулированы цель, основные задачи исследования, приведены основные научные результаты и практическая ценность работы.

В первой главе выполнен литературный обзор существующих конструкций надземных трубопроводных переходов и анализ методов их расчета.

Значительный вклад в развитие различных сторон рассматриваемой проблемы внесли работы институтов: ВНИИСТ, ВНИИГАЗ, ИПТЭР, РГУНГ им. И.М. Губкина; проектных организаций: Гипротрубопровод, ВНИПИтрансгаз, Нефтегазпроект. Вопросам проектирования, сооружения и эксплуатации надземных трубопроводных переходов посвящены работы отечественных ученых Азметова Х.А., Айнбиндера А.Б., Бабина Л.А., Березина В.Л., Бородавкина П.П., Булгакова А.В., Быкова Л.И., Гольдштейна А.С., Гумерова А.Г., Казакевича М.И., Камерштейна А.Г., Кантемирова И.Ф., Киреенко В.И., Лунева Л.А., Папаценко Х.И., Перуна И.В., Петрова И.П., Спиридонова В.В., Тартаковского Г.А., Харионовского В.В., Шувалова В.Ю., Ясина Э.М. зарубежных Корнелла С., Майера Л., Пагсли А., Робинсона А., Веста Х. и др.

На основании обобщения многочисленных публикаций по данной тематике нами разработана классификация надземных трубопроводных переходов (рис.1), основным принципом построения которой является несущая способ-

ность рабочего трубопровода. Он отражает возможность воспринимать действующие на трубопровод нагрузки. Согласно данному признаку, надземные переходы делятся на два основных типа: 1) переходы с самонесущим рабочим трубопроводом; 2) переходы с поддерживающими элементами рабочего трубопровода.

Применительно к балочным трубопроводным переходам, на основе анализа конструктивных особенностей, внесена дополнительно подгруппа по возможности регулирования напряжений. Кроме того, введен новый класс по конструктивным формам – предлагаемое нами конструктивное решение трубопроводного перехода с поддерживающим элементом в виде фермы.

Представленная классификация обеспечивает возможность прогнозирования перспективных направлений исследований по совершенствованию конструкций и методик расчета надземных переходов трубопроводов.

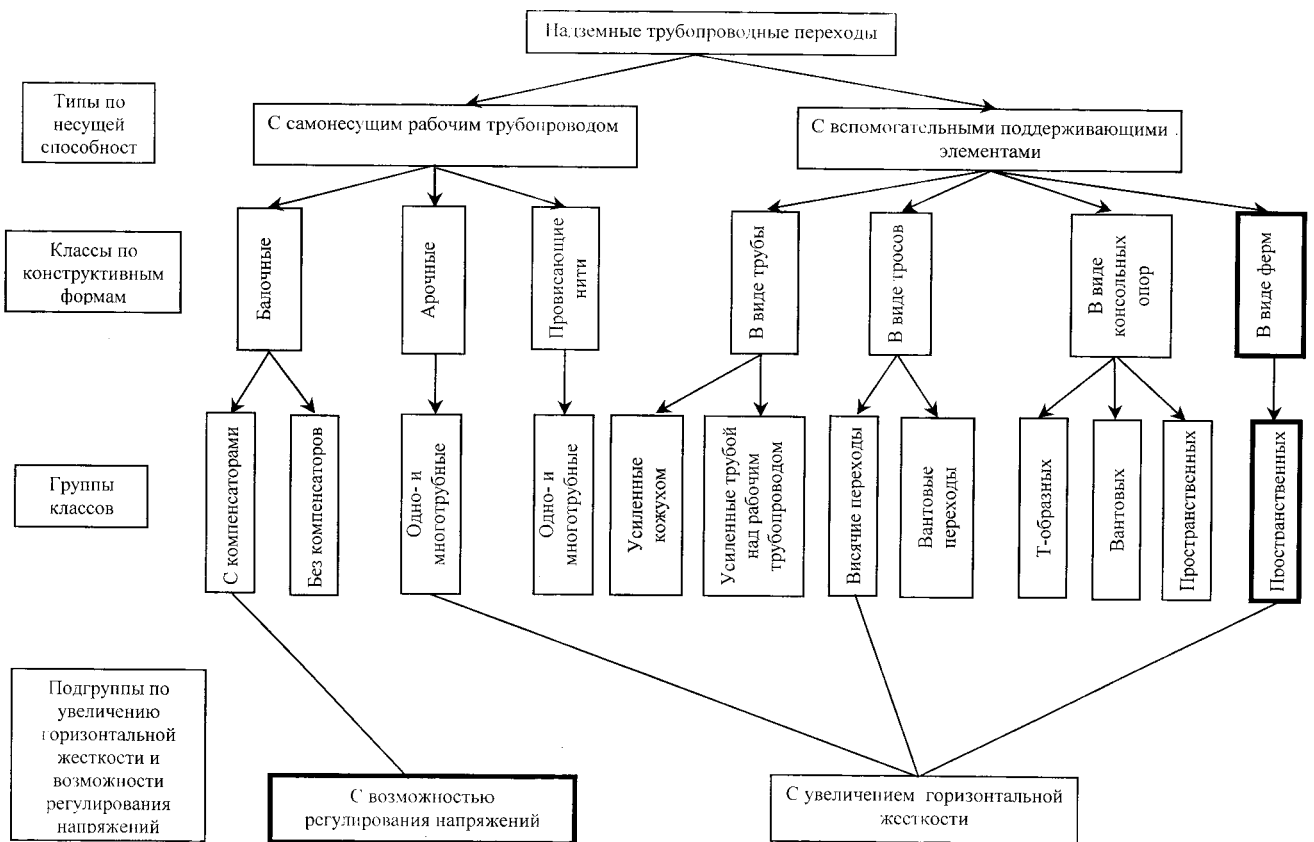


Рис.1. Классификация надземных трубопроводных переходов по конструктивным признакам

Во второй главе на основе анализа достоинств и недостатков существующих конструкций предложено конструктивное решение трубопроводного балочного перехода с поддерживающим элементом в виде фермы и изложена методика его расчета.

Трубопроводный переход (рис.2), опирающийся на концевые опоры 2 и 4, содержит поддерживающий элемент в виде фермы 3, которая может иметь либо прямоугольное поперечное сечение (рис.2,а), либо сечение в виде равнобедренного треугольника (рис.2,б). Внутри фермы размещается трубопровод 1. Пояса 6 ферм могут иметь тавровое поперечное сечение, решетка 5 может быть выполнена из равнобоких уголков.

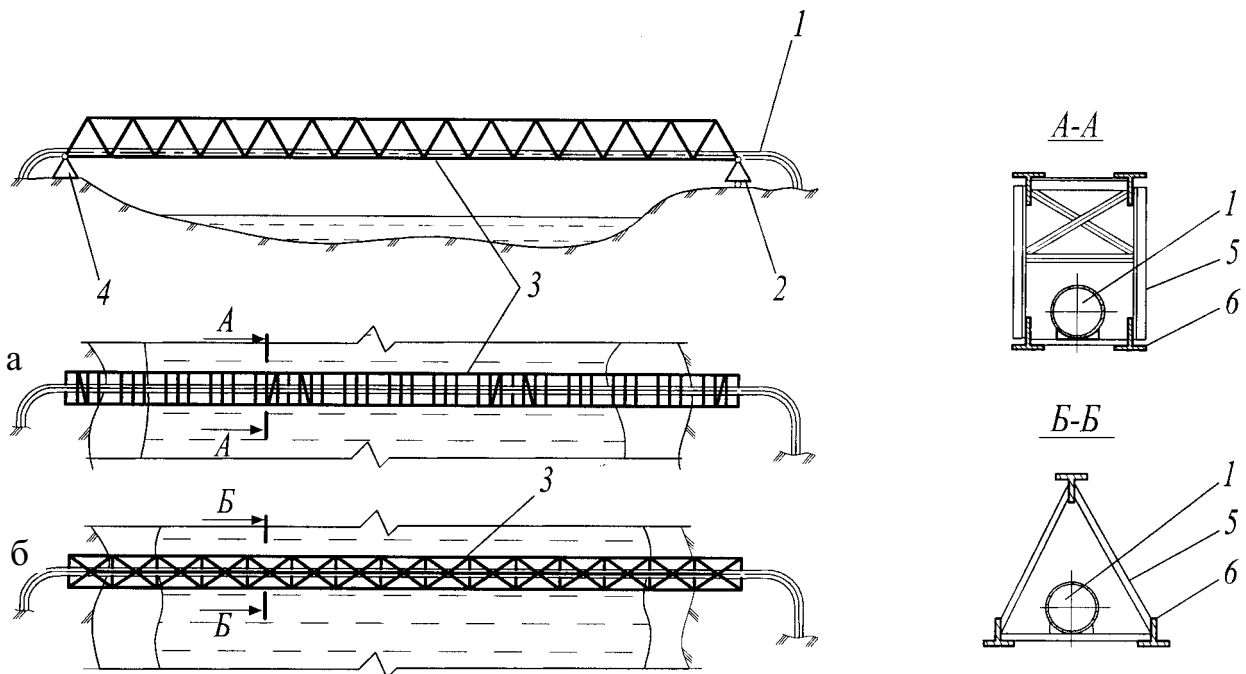


Рис.2. Трубопроводный переход с поддерживающим элементом рабочего трубопровода в виде фермы:

а – с фермой прямоугольного сечения; б – с фермой сечением в виде равнобедренного треугольника;

1 – трубопровод; 2,4 – концевые опоры; 3 – ферма; 5 – решетка фермы;

6 – пояса фермы

Нагрузка от транспортируемого продукта в трубопроводе 1 воспринимается опорными узлами фермы 3 и посредством ее общей работы передается на

шарнирно-подвижную 2 и шарнирно-неподвижную 4 концевые опоры перехода.

Описанный трубопроводный переход дает возможность увеличить перекрываемый пролет в 2-3 раза без устройства промежуточных опор и специальных ветровых систем.

Для обоснования целесообразности его использования в работе выполнена оценка материалоемкости путем сравнения безразмерных коэффициентов, выражающих отношение погонного веса перехода к погонным действующим нагрузкам. Для сравнения были выбраны наиболее распространенные конструкции трубопроводных переходов, имеющие один диапазон перекрываемых пролетов. В результате установлено, что предлагаемый нами переход занимает по материалоемкости промежуточное положение между гибким висячим трубопроводным переходом и вантовым трубопроводным переходом с горизонтальной стяжкой. Окончательный выбор способа надземной прокладки зависит от конкретных размеров, нагрузок и воздействий, а также условий эксплуатации трубопровода.

При разработке методики расчета принимались следующие допущения:

- материал трубопровода и поддерживающей ее фермы нагружен в пределах упругих деформаций;
- расчетная схема трубопроводного перехода сводится к стержневой;
- элементы фермы соединены между собой шарнирно;
- воздействие ветра на трубопроводный переход не учитывается;
- явление аэродинамической неустойчивости не рассматривается.

Такие допущения возможны и подтверждены в работе В.Л. Березина, В.Е. Шутова «Прочность и устойчивость резервуаров и трубопроводов».

Разработанная методика реализуется по следующему алгоритму:

- 1) рассчитывается распределенная нагрузка, которая включает в себя собственный вес трубы и вес перекачиваемого продукта;
- 2) подбирается расчетом поддерживающая ферма из числа типовых конструкций;

3) трубопроводный переход представляется в виде расчетной схемы (рис.3), где он рассматривается в виде балки кольцевого поперечного сечения, а ферма заменяется упругоподатливыми опорами, количество которых соответствует числу точек опоры трубопровода внутри этой фермы;

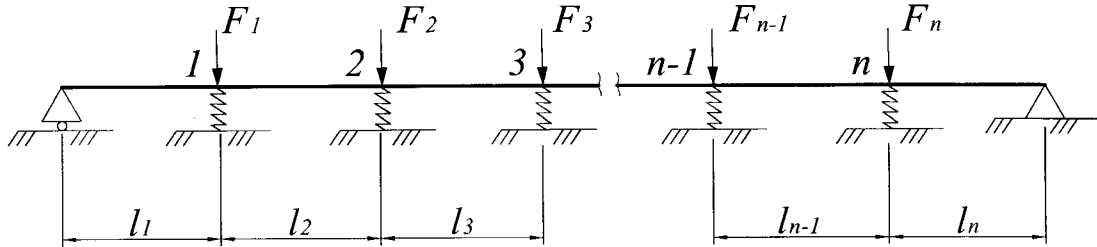


Рис.3. Расчетная схема трубопроводного перехода

4) в расчетной схеме сосредоточенные силы $F_1 \div F_n$ определяются путем приведения расчетной распределенной нагрузки на опорные узлы;

5) в этом случае коэффициенты жесткости упругоподатливых опор будут находиться по формуле

$$\beta_i = F \cdot \frac{1}{f_i}, \quad (1)$$

где f_i – прогиб фермы в точке приложения единичной силы, определяемый по формуле Максвелла-Мора;

6) для решения системы уравнений строится матрица коэффициентов уравнений равновесия в виде

$$A = \begin{pmatrix} (l_1^{-1} + l_2^{-1}) & -l_2^{-1} & 0 & \cdot & 0 & 1 & \cdot & 0 \\ -l_2^{-1} & (l_2^{-1} + l_3^{-1}) & -l_3^{-1} & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & -l_3^{-1} & (l_3^{-1} + l_4^{-1}) & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & -l_4^{-1} & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -l_{n-1}^{-1} & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -l_{n-1}^{-1} & (l_{n-1}^{-1} + l_n^{-1}) & 0 & \cdot & 1 \end{pmatrix}; \quad (2)$$

7) с учетом расчетной схемы (см. рис.3) формируется матрица внутренней податливости из выражения для потенциальной энергии внутренних сил при наличии упругоподатливых опор, которая имеет вид

$$B = \begin{pmatrix} k \frac{(l_1 + l_2)}{3EI} & \frac{l_2}{6EI} & 0 & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ \frac{l_2}{6EI} & \frac{(l_2 + l_3)}{3EI} & \frac{l_3}{6EI} & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & \frac{l_3}{6EI} & \frac{(l_3 + l_4)}{3EI} & \cdot & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{l_{n-1}}{6EI} & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{l_{n-1}}{6EI} & k \frac{(l_{n-1} + l_n)}{3EI} & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_1^{-1} & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \beta_n^{-1} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где коэффициент k учитывает влияние концевых компенсаторов на заземленность трубопровода и определяется по формулам, разработанным Л.А. Луневым;

8) реализуя матричный метод расчета упругих стержневых систем, находим искомые прогибы трубопровода и возникающие внутренние силовые факторы (изгибающие моменты M и реакции упругоподатливых опор T);

9) проверку прочности трубопровода на действие максимального изгибающего момента проводим по формуле

$$\sigma_{\max} \leq R_2, \quad (4)$$

где $\sigma_{\max} = \sigma_{np.p} + \sigma_{изг}$, Па;

R_2 – расчетное сопротивление трубной стали растяжению (сжатию);

$\sigma_{np.p}$ – продольные напряжения от внутреннего давления в прямолинейном надземном трубопроводе с компенсаторами

$$\sigma_{np.p} = n_p \frac{pD_{вн}}{4\delta_{ст}},$$

n_p – коэффициент надежности по нагрузке от внутреннего давления;

p – величина рабочего давления, Па;

$\delta_{ст}$ – толщина стенки трубопровода, м;

$\sigma_{изг}$ – напряжения от изгиба, Па;

$$\sigma_{изг} = \frac{M}{W};$$

M – величина изгибающего момента в трубопроводе в точке опоры на ферму, Н×м;

W – осевой момент сопротивления поперечного сечения трубы, м³.

Деформации, вызванные изменением температуры и внутреннего давления, воспринимаются компенсаторами трубопроводного перехода.

Третья глава посвящена моделированию экспериментальной установки, получению экспериментальных данных о напряженно-деформированном состоянии (НДС) модели трубопроводного перехода и анализу особенностей поведения при воздействии статической нагрузки.

В работе показано, что определяющими параметрами системы или параметрами, описывающими ее поведение, являются:

1) величина приведенной сосредоточенной силы F от собственного веса трубы и веса продукта, приложенной в точке опоры трубопровода внутри фермы с размерностью $[F]$;

2) длина L , ширина b и высота h фермы, вылет компенсатора l_k с размерностью $[L]$;

3) момент инерции поперечного сечения трубы I , с размерностью $[L^4]$;

4) площади поперечных сечений элементов фермы A , с размерностью $[L^2]$;

5) модуль упругости E , с размерностью $[L^{-2}F]$.

На их основе были получены три критерия подобия:

$$\pi_1 = \frac{F}{EL^2} = idem, \quad \pi_2 = \frac{I}{L^4} = idem, \quad \pi_3 = \frac{A}{L^2} = idem.$$

Отношения $\frac{h}{L}$, $\frac{b}{L}$, $\frac{l_k}{L}$ являются одними и теми же, если соблюдено геометрическое подобие натуре и модели. Коэффициент Пуассона численно одинаков для модели и натуре, т.е. $\mu_m = \mu_n$.

Основные размеры модели назначены для перехода трубопровода диаметром 1020 мм. В процессе испытаний замерялись линейные перемещения трубопровода и возникающие в нем напряжения в трех сечениях.

На рис.4 изображен общий вид, а на рис.5 – схема экспериментальной установки.



Рис.4. Общий вид экспериментальной установки

С целью исключения возможных погрешностей измерений, связанных с деформацией основания модели трубопроводного перехода, она крепилась на станине из двух перфорированных швеллеров №6 длиной 2,5 м каждый (рис.4).

Для измерения напряжений применялись проволочные тензодатчики на бумажной основе, наклеенные вдоль верхней и нижней образующих стержней, моделирующих трубопровод и пояса фермы. Отсчеты относительной деформации тензодатчиков регистрировались прибором ИДЦ – 1. Прогибы трубопровода в моделях замерялись индикаторами перемещений часового типа ИЧ 10 МН, которые были установлены на специальных кронштейнах в зонах рассматриваемых сечений трубопровода.

В качестве поперечной нагрузки использовались подвесные тарированные грузы, которые подвешивались к стержню трубопровода в точках опоры на

ферму. Рассматривались расчетные случаи, отражающие возможные эксплуатационные условия: пустой, частично заполненный и полностью заполненный жидкостью трубопровод.

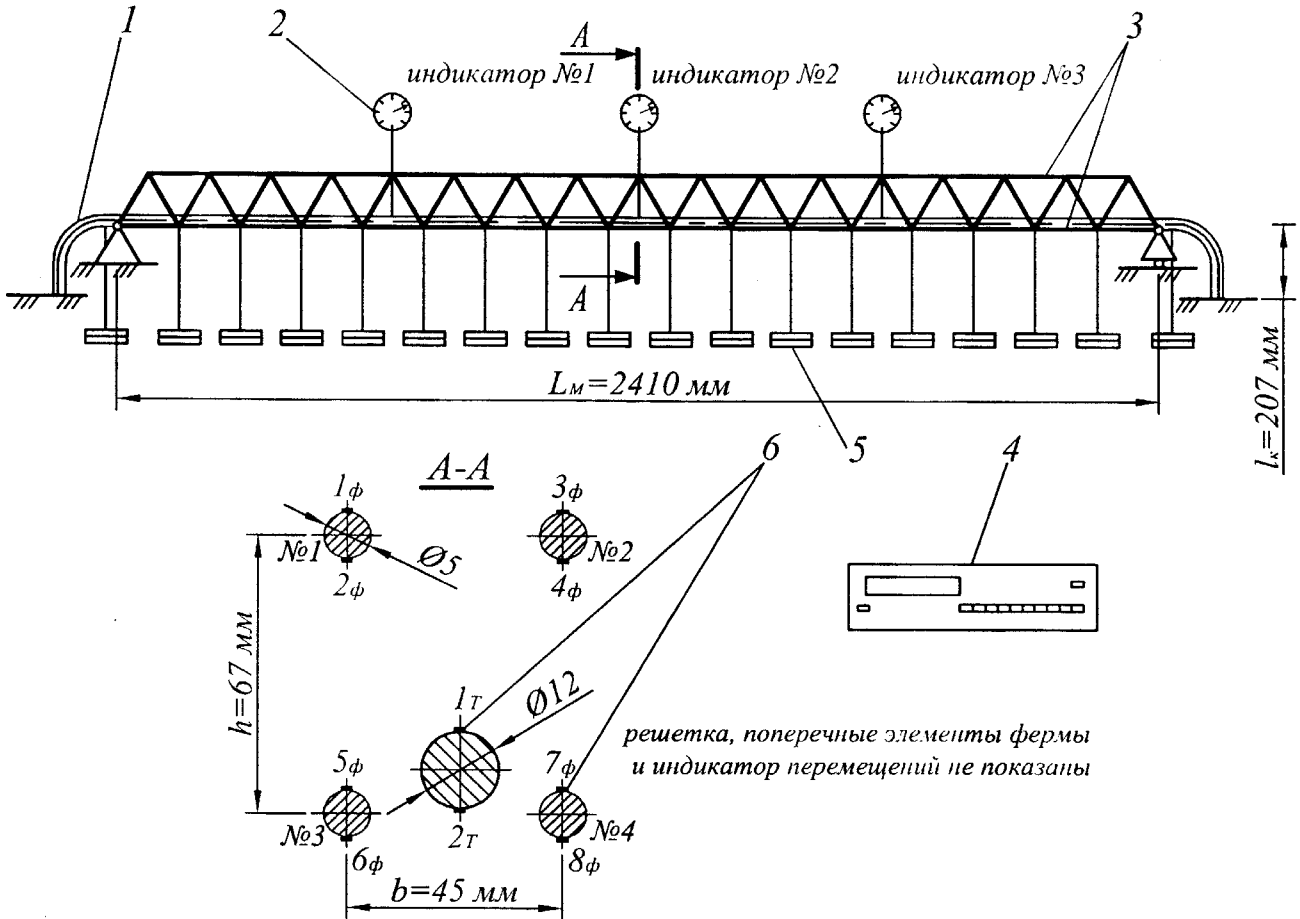


Рис.5. Схема экспериментальной модели перехода трубопровода:
 1-трубопровод; 2-индикаторы перемещений ИЧ 10 МН; 3-поояса фермы;
 4-цифровой измеритель деформаций ИДЦ-1;
 5-подвесные тарированные грузы; 6-тензодатчики сопротивления

Полученные после проведения экспериментов и соответствующей их обработки опытные данные как количественно, так и качественно характеризуют напряженно-деформированное состояние конструкции. Исследования показали работоспособность разработанной конструкции трубопроводного перехода при воздействии расчетной статической нагрузки. В относительных координатах были построены графики (рис.6,7) наглядно изображающие, что в диапа-

зоне от $0,5 \div 1,08 q_{расч}$ прослеживается схожий с теоретической зависимостью пропорциональный характер изменения прогибов и напряжений от действующей нагрузки.

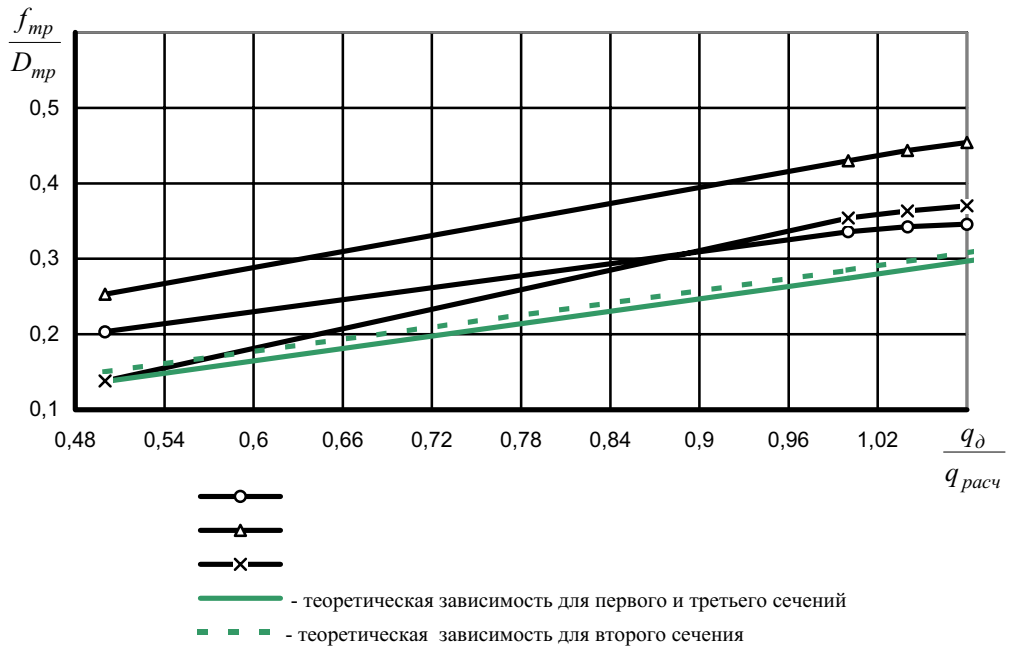


Рис.6. Характер изменения прогиба трубопровода в зависимости от действующей нагрузки

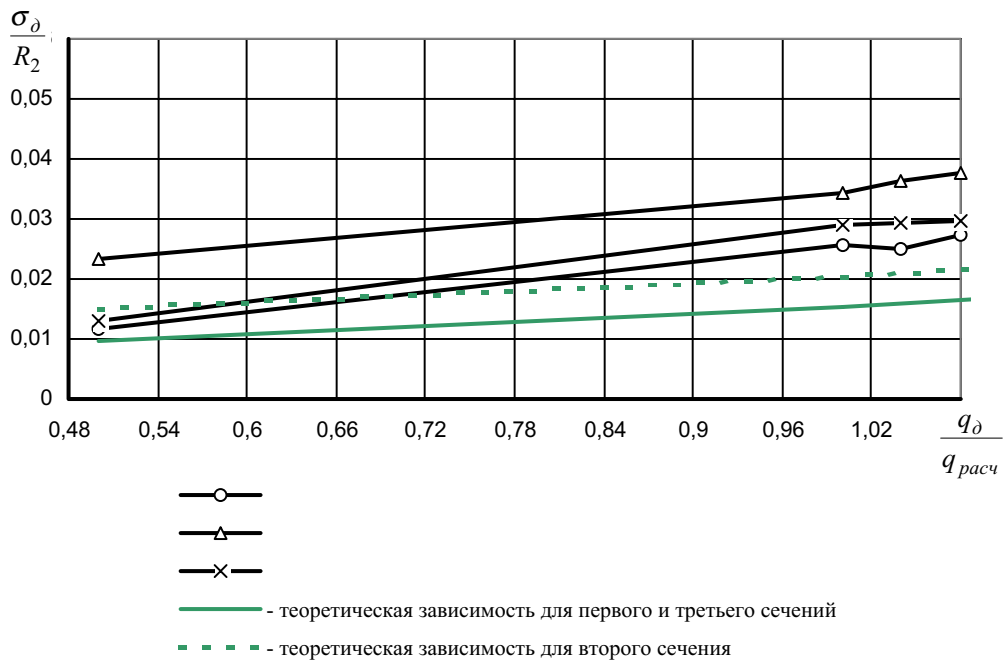


Рис.7. Характер изменения напряжений в трубопроводе в зависимости от действующей нагрузки

Экспериментально установлено, что при увеличении расчетной нагрузки на 12% переход перестает удовлетворять условиям эксплуатации, поскольку наступает предельное состояние по устойчивости сжатых элементов поддерживающей фермы, тогда как напряжения в сечениях трубопровода находятся в пределах упругих деформаций и далеко не равны пределу текучести.

Характер и форма потери устойчивости позволили сделать вывод, что это явление произошло из-за отсутствия в сечении поддерживающей фермы диагональных связей, так как прямоугольная форма сечения сама по себе, как известно, является неустойчивой из-за геометрической изменяемости. Опытным путем показано, что наличие диагональных связей в поперечном сечении поддерживающей фермы отражается на несущей способности трубопроводного перехода и существенно увеличивает его рабочую зону. Расчетная нагрузка при этом возросла на 28% от первоначальной.

Имеющиеся расхождения экспериментальных и теоретических данных вызваны, прежде всего, неидеальностью изготовленной модели, вследствие которой она изначально деформируется несколько по-иному, чем модель строгой формы. Кроме того, поскольку при выполнении моделирования невозможно было достичь полного подобия модели и прототипа, то величины прогибов и напряжений по разработанной методике получены без учета влияния отпора компенсаторов и заземленности ими трубопровода.

Влияние всех этих факторов в совокупности объясняет однозначные расхождения результатов измерения прогибов и напряжений в трубопроводе и некоторую заниженность теоретических данных над опытными значениями (рис.6,7).

Корректность поставленных экспериментов доказана отсутствием превышения абсолютных ошибок измерения как при определении перемещений, так и напряжений над абсолютной погрешностью используемых измерительных приборов.

В четвертой главе предложена усовершенствованная методика расчета балочных трубопроводных переходов с учетом влияния высотного положения опор и их контактного взаимодействия с трубой.

Показано, что трубопроводы, проложенные над землей, оказываются весьма чувствительными к просадке какой-либо из опор или просто к расположению опор не на одном уровне. На практике же нередки случаи смещения опор от проектного уровня. Эти вертикальные смещения опор приводят к появлению дополнительных изгибающих моментов, при этом общая картина напряженного состояния трубопровода становится в этом случае существенно отличной от предполагаемой расчетной схемы. Поэтому принятие в процессе проектирования и сооружения расположения всех опор на одном уровне относительно друг друга указывает на необходимость уточнения существующей расчетной методики балочных трубопроводных переходов.

Поскольку возможности физического моделирования при исследовании данного вопроса ограничены, нами было реализовано компьютерное моделирование.

Анализ результатов исследования показал, что изменением высотного положения опор в балочных переходах можно добиться уменьшения возникающих напряжений в трубопроводе на величину в среднем до 35%, о чем наглядно свидетельствует графическая зависимость на рис.8, построенная на примере трубопровода 1020×10 мм.



Рис.8. Характер влияния понижения опор на возникающие напряжения в многопролетных балочных системах

На рис.8 по оси ординат отложена относительная величина снижения напряжений, вычисляемая по формуле

$$\Delta_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} 100, \quad (5)$$

где σ_{\max} – напряжения при равновысотном положении опор, МПа;

σ_{\min} – напряжения после понижения уровня опор, МПа;

Вследствие изменения уровня опор искусственно создаются дополнительные изгибающие моменты, которые складываются с моментами в расчетных сечениях, при этом напряжения в опорных и пролетных сечениях стремятся выровняться между собой по абсолютной величине. Тем самым происходит более рациональное, с точки зрения равнопрочности, нагружение трубопровода.

Дальнейшим развитием данного вопроса явилась проработка наиболее возможных схем двухконсольных балочных трубопроводных переходов с целью обобщения результатов и представления их в виде номограмм для нахождения необходимых величин опускания опор, при соблюдении которых будет наблюдаться минимум действующих напряжений.

На рис.9 изображена номограмма для нахождения необходимой величины опускания опор в однопролетном балочном переходе.

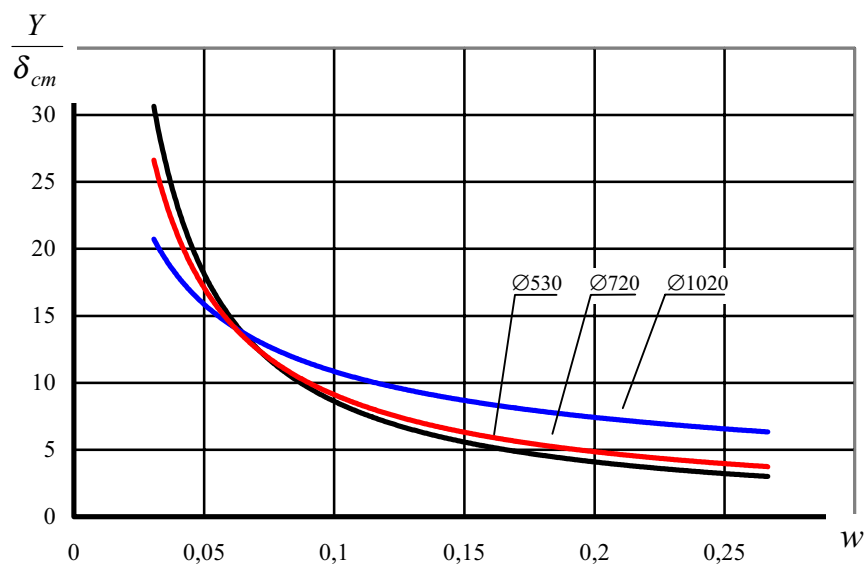


Рис.9. Номограмма для определения необходимой величины опускания опор в однопролетном балочном переходе

Аналогичные номограммы были построены для двух- и трехпролетных схем трех наиболее распространенных диаметров.

Кривые на номограммах наилучшим образом описываются степенной зависимостью вида

$$Y = a \cdot \delta_{cm} \cdot w^b, \quad (6)$$

где Y – искомая величина необходимой просадки опор.

a, b – коэффициенты, которые для наиболее распространенных диаметров сведены в таблицу:

Диаметр, мм	Однопролетная схема		Двухпролетная схема				Трехпролетная схема			
	a	b	a		b		a		b	
			Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
530	0,73	-1,07	1,15	7,34	-1,18	-0,88	4,03	16,32	-0,99	-0,85
720	1,12	-0,91	4,68	11,60	-0,68	-0,69	12,20	27,38	-0,58	-0,66
1020	3,07	-0,55	13,10	27,37	-0,28	-0,37	22,33	40,98	-0,33	-0,46

w – безразмерный коэффициент, определяемый как отношение

$$w = \frac{p \cdot q_{расч}}{R_2 \cdot 1000H / м};$$

$q_{расч}$ – расчетная распределенная нагрузка, Н/м.

Используя номограммы или уравнение (6) по входным расчетным параметрам $D, \delta_{cm}, q_{расч}, R_2, p$ при проектировании балочных трубопроводных переходов, можно определить величину необходимого вертикального перемещения средних опор, соответствующую минимальным возникающим напряжениям в трубопроводе.

Использование данного способа регулирования напряжений в балочных переходах трубопроводов в свою очередь требует внесения изменений в конструкцию опорной части. В этой связи нами предложена следующая ее конструкция (рис. 10).

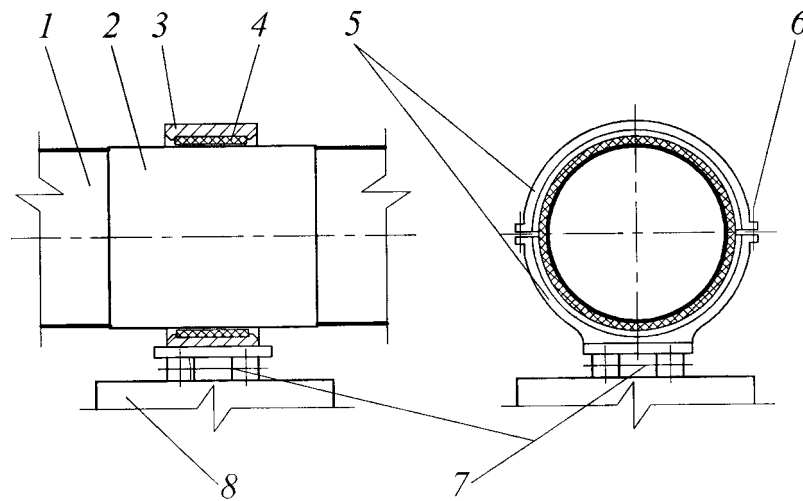


Рис. 10. Конструкция опорной части трубопровода:

- 1 – трубопровод; 2 – накладка; 3 – обойма; 4 – фторопласт-4;
 5 – полумуфты; 6 – стяжные болты; 7 – регулировочное устройство;
 8 – опора

Она включает в себя обойму 3, состоящую из двух полумуфт 5, которые скрепляются стяжными болтами 6 таким образом, что позволяют трубопроводу свободно перемещаться вдоль его продольной оси. Проложенный трубопровод выводится в проектное положение за счет регулировочного устройства 7. Накладка 2 представляет собой тонколистовую нержавеющей сталь, которой облицовывают трубопровод в пределах возможных смещений.

Известно, что механическое нагружение деформируемых тел в большинстве случаев является результатом взаимодействия двух и более контактирующих объектов. Поскольку в зоне контакта условия нагружения чаще всего наиболее жесткие, то процессы повреждения начинаются с поверхности. Так, анализом безотказной работы надземных газопроводов, проведенным во ВНИИ-ГАЗе установлено, что свыше 70% отказов вызваны трещинами в местах опирания трубопровода о ригели опор.

В большинстве случаев зона затухания контактных напряжений сопоставима с конечными размерами взаимодействующих тел, поэтому, часто следуя принципу Сен-Венана, явлениями в контакте пренебрегают и исследуют НДС при заданных на границе силах и перемещениях. Такое упрощение реальной

задачи связано с существенными трудностями ее решения в целом. Однако с развитием современных численных методов, реализованных на ЭВМ, появилась возможность рассматривать НДС с учетом особенностей контактного взаимодействия. Поэтому в работе нами был исследован вопрос контактного взаимодействия трубы с опорной конструкцией при реализации рационального высотного положения.

Таким образом, помимо уже известных факторов, при проектировании балочных трубопроводных систем должно учитываться также влияние предварительных перемещений опор в вертикальной плоскости, причем согласованное с результатами расчета контактного взаимодействия трубы с опорной конструкцией. Это позволяет добиться рационального, с точки зрения равнопрочности, нагружения трубопровода и повысить точность оценки напряженно-деформированного состояния.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Выполненная диссертационная работа, являясь в целом экспериментально-теоретической, позволяет расширить область применения балочных трубопроводных переходов и с большей достоверностью, учитывая действительные условия работы, подойти к оценке их напряженно-деформированного состояния в направлении улучшения качества проектирования и сформулировать следующие выводы:

1. На основе аналитического обзора известных технических решений разработана более полная классификация надземных трубопроводных переходов по конструктивным признакам, дающая возможность прогнозировать перспективные направления исследований по совершенствованию их конструкций и методик расчета.

2. Предложено новое конструктивное решение надземного трубопроводного балочного перехода с поддерживающим элементом в виде фермы, обеспечивающего увеличение перекрываемого пролета в 2 – 3 раза без устройства про-

межуточных опор и специальных ветровых систем. Данный трубопроводный переход имеет безразмерный показатель материалоемкости, равный 0,052, который меньше, чем у гибкого висячего равнозначных параметров перехода, с тем же показателем, равным 0,056.

3. Экспериментальные данные показывают вполне приемлемую работоспособность разработанной конструкции трубопроводного перехода при воздействии расчетной статической нагрузки. Установлено, что при превышении фактической нагрузки над расчетной на 12 – 16% конструкция, обладая еще некоторым запасом прочности, перестает удовлетворять условиям эксплуатации ввиду потери устойчивости сжатых элементов поддерживающей фермы. Опытным путем показано, что наличие диагональных связей в поперечном сечении поддерживающей фермы повышает несущую способность трубопроводного перехода и увеличивает рабочий диапазон нагрузок на 28%.

4. Усовершенствование имеющейся методики расчета балочных трубопроводных переходов с учетом влияния высотного положения опор позволяет добиться рационального, с точки зрения равнопрочности, нагружения трубопровода и снизить общий уровень возникающих напряжений в трубопроводе в среднем на 35%. При проектировании балочных трубопроводных систем учет контактного взаимодействия трубы с опорной конструкцией позволяет с большей точностью и приближением к реальным условиям их работы оценивать напряженно-деформированное состояние.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Автахов З.Ф., Быков Л.И., Шувалов В.Ю. Рациональное размещение опор в многопролетных балочных переходах//Матер. 49-й науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Секция трубопроводного транспорта. - Уфа: УГНТУ, 1998. – С. 35-36.

2. Автахов З.Ф., Шувалов В.Ю. Использование метода конечных элементов для рационального размещения опор балочных переходов трубопроводов//Проблемы нефтегазовой отрасли: Матер. межрегион. науч.-метод. конф. – Уфа: УГНТУ, 2000. – С. 164.

3. Автахов З.Ф. Новая конструкция балочного трубопроводного перехода//Севергеоэкотех-2002: Матер. межрегион. молодежной науч. конф. – Ухта, 2002. – С.93-95.
4. Автахов З.Ф., Быков Л.И. Новая конструкция трубопроводного перехода//Проблемы строительного комплекса России: Матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. – Уфа: УГНТУ, 2002. – С.104-105.
5. Автахов З.Ф., Быков Л.И. Оценка материалоемкости некоторых трубопроводных переходов//Трубопроводный транспорт нефти и газа: Матер. Всеросс. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию с начала подготовки специалистов трубопроводного транспорта в УНИ-УГНТУ. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. – С. 155-157.
6. Автахов З.Ф., Быков Л.И., Лунев Л.А. Обзор существующих надземных трубопроводных переходов//Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. - Уфа: Монография, 2002. – С. 150-152.
7. Быков Л.И., Лунев Л.А., Автахов З.Ф. К вопросу рационального проектирования надземных трубопроводных переходов//Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ: Сб. науч. тр. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. – С.51 – 60.
8. Автахов З.Ф., Быков Л.И. Рациональное проектирование балочных трубопроводных переходов//Изв. вузов. Нефть и газ. – 2003. - №1. – С.60-64.
9. Автахов З.Ф., Быков Л.И., Лунев Л.А. Оценка напряженно-деформированного состояния надземного трубопроводного перехода//Изв. вузов. Нефть и газ. – 2003. - №3. – С.63-69.
10. Быков Л.И., Автахов З.Ф. К вопросу проектирования балочных трубопроводных переходов//Сооружение, ремонт и диагностика трубопроводов: Сб.науч. тр. – М.: Недра, 2003. – С.49-59.
11. Быков Л.И., Автахов З.Ф. Оценка влияния опорных условий на работу балочных трубопроводных систем//Изв. вузов. Нефть и газ. – 2003. - №5. – С.79-85.