

**Применение сильфонных компенсаторов
на тепловых сетях ГУП «ТЭК СПб»**

**г. Санкт - Петербург
2006 г.**

Введение

Для компенсации температурных напряжений при строительстве тепловых сетей до 1981 года применялись сальниковые, а также П-, S- и Г-образные компенсаторы. Каждому из них свойственны отдельные серьезные недостатки: нарушение герметичности, большие габариты, увеличение зон отчуждения дорогостоящей городской земли и т.д. Наиболее сложными в эксплуатации и монтаже являются сальниковые компенсаторы. Сальниковые компенсаторы требуют постоянного обслуживания, связанного с периодической подтяжкой уплотнения и заменой уплотнительного материала. При подземной прокладке теплопроводов установка сальниковых компенсаторов требует строительства дорогостоящих камер. Достаточно большой вес таких компенсаторов, даже относительно небольших диаметров, требует наличия при их монтаже грузоподъемных механизмов, применение которых в ряде случаев затруднено, особенно при прокладке тепловых сетей в городских условиях. Стоимость сальниковых компенсаторов превышает стоимость сильфонных более чем в 2 раза.

Длительная практика эксплуатации сальниковых компенсаторов показала, что даже при наличии регулярного их обслуживания имеют место протечки теплоносителя. В приложении 1 представлены снимки дефектных компенсаторов, выполненные тепловизионной аэрофотосъемкой, которые показывают затопление горячей водой подземную камеру. При большой протяженности тепловых сетей суммарная величина такого рода протечек может достигать достаточно больших значений. Протечки теплоносителя приводят к следующим **отрицательным последствиям**:

1. Возрастает потребление холодной воды на теплоисточниках для восполнения утечек из трубопроводов тепловых сетей.
2. Увеличивается потребление холодной воды и, соответственно, ее потери на теплоисточниках, связанные с необходимостью выработки дополнительного объема подпиточной воды для компенсации утечек. Эти потери связаны с ростом количества вырабатываемой питательной воды для паровых котлов, увеличением нагрузки на оборудование химводоподготовки и деаэрационные установки, возрастанием объема сбрасываемой в канализацию горячей продувочной воды от котлов и воды необходимой для охлаждения последней.
3. Увеличение общего объема подпитки приводит к дополнительному поступлению агрессивных газов в трубопроводы тепловых сетей и росту их коррозионного износа.
4. Необходимость выработки дополнительного количества подпиточной воды для компенсации утечек приводит к перерасходу топлива на теплоисточниках и снижению технико-экономических показателей их работы.
5. Возрастает потребление электроэнергии на привод подпиточных насосов, дополнительная производительность которых тратится на прокачку воды теряемой с утечками.
6. Увеличивается потребление электроэнергии, связанное с работой паровых котлов на питательные насосы и тягодутьевые устройства.
7. Имеет место рост коррозионных повреждений наружной поверхности компенсаторов и прилегающих к ним трубопроводов.
8. Увеличивается термическое воздействие на окружающую среду.

9. Дополнительная выработка подпиточной воды для восполнения утечек приводит к уменьшению резерва мощности теплоисточников и, в целом, к снижению надежности и качества теплоснабжения потребителей.

10. Дополнительная выработка подпиточной воды для восполнения утечек увеличивает загрузку оборудования, что приводит к сокращению сроков его службы и увеличению затрат на проведение ремонтных работ.

Анализ эксплуатации сильфонных компенсаторов на предприятии.

В целях повышения надежности теплоснабжения, снижения капитальных вложений, потерь с утечками и эксплуатационных расходов, с 1981 года в ГУП «ТЭК СПб» при проведении капитального ремонта и строительства тепловых сетей началась установка сильфонных компенсаторов вместо сальниковых. Всего за этот период было установлено 13360 сильфонных компенсаторов.

Количество установленных на эксплуатационных филиалах предприятия сильфонных компенсаторов, с разбивкой по диаметрам, приведено в таблице 1.

Таблица 1

Филиал	Количество установленных компенсаторов			
	до 300 мм	300÷600 мм	600÷1200 мм	Всего
Восточный	1160	687	259	2106
Северный	976	823	436	2236
Северо-Западный	2510	689	357	3556
Юго-Западный	2819	429	70	3318
Южный	1589	460	96	2145
Итого:	9054	3088	1218	13360

Сроки эксплуатации сильфонных компенсаторов приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Срок эксплуатации	До 5 лет	От 5 до 10 лет	От 10 до 15 лет	Свыше 15 лет
Количество, шт.	2311	3578	6519	952

Анализ состояния трубопроводов и элементов конструкций тепловых сетей, находящихся на балансе ГУП «ТЭК СПб», проведенный в 1998 году показал, что общее количество поврежденных сильфонных компенсаторов за период внедрения составляло 92 шт.

Полученные данные о причинах повреждаемости по отдельным филиалам показывают:

1. На Северо-Западном филиале за период эксплуатации с 1993 по 1998 год было заменено 33 сильфонных компенсатора. Причинами появления дефектных разрушений на сильфонных компенсаторах явились:

- ◆ нарушение соосности трубопроводов из-за их просадки в процессе эксплуатации – 9 шт.
- ◆ нарушение конструкций неподвижных опор - 9 шт.
- ◆ коррозия гофр компенсаторов – 15 шт.

2. На Юго-Западном филиале в 1983 году было установлено 4 сифонных компенсатора (2 шт. диаметром 200 мм Ждановского завода и 2 шт. диаметром 100 мм завода п/я 5957). Эти компенсаторы работают безотказно до сегодняшнего времени (23 года). В период с 1983 по 1999 годы на филиале установлено 1024 компенсатора. За этот период зафиксировано 4 дефекта. Характер дефектов в основном указывает на нарушение технологии при установке (просадка, недостаточная растяжка).

Только на одном компенсаторе была обнаружена язвенная, химическая коррозия двух верхних слоёв нержавеющей стали гофр компенсатора.

3. В 1997 году на Восточном филиале был выполнен анализ причин разрушения от наружной коррозии трех сифонных компенсаторов установленных в 1993г. Для этого были привлечены ведущие конструкторские организации города и завод-изготовитель компенсаторов (ЦНИИ материалов, трест ГРИИ, СКТБ «Компенсатор»). Для исследования были представлены фрагменты сифонных компенсаторов, подвергшихся коррозионным разрушениям в процессе эксплуатации. Наружная поверхность гофр одного из них имела сильные коррозионные повреждения. В отдельных местах металл окислился полностью и открыл ниже расположенные слои металла, которые в свою очередь также подверглись сильной коррозии. Внутренняя (обращённая к теплоносителю) поверхность фрагмента была светлой и имела металлический блеск. На другом из сифонных компенсаторов отмечено отсутствие внешнего слоя, изготовленного из нержавеющей стали. Отдельные фрагменты этого слоя обнаружены под кольцевым крепёжным бандажом, они были сильно истончены и имели рваные края.

В результате проведенной работы было установлено:

1. Компенсаторы изготовлены в соответствии с требованиями ТУ 5.551-19729-88, внутренний и внешний слои выполнены из стали 08Х18Н10Т (ГОСТ 5632), промежуточный слой из стали 08кп (ГОСТ 9045). Согласно ТУ 5.551-19729-88 на сифонные компенсаторы предъявляются следующие требования к окружающей среде - концентрация хлоридов до 35 мг/л, сульфатов – до 500 мг/л.
2. Исследование образцов разрушенных сифонных компенсаторов показало на отсутствие наружного слоя, изготовленного из нержавеющей стали. Кроме того, на образце имеется значительная коррозия промежуточного слоя - из углеродистой стали, а также отсутствие на нём коррозии внутреннего слоя - из нержавеющей стали.
3. Выполненный в соответствии с ГОСТ 9.602-89 анализ проб грунта в местах установки сифонных компенсаторов показал его коррозионную активность по отношению к стальным изделиям (Таблица 3).

Показатели коррозионной активности грунта

Таблица 3

Показатель	Удельное эл. сопротивление ом *м.	Содержание хлоридов мг/л	Содержание сульфатов мг/л	рН	Гумус мг/л
Величина показателя	8,7-22,1	84-113	240-1008	7,39-8,38	121-860

Дальнейший анализ качества монтажа и эксплуатации сильфонных компенсаторов показал, что эксплуатация трубопроводов и других элементов тепловой сети в Санкт–Петербурге и его пригородах происходит при воздействии следующих факторов:

1. Высокий уровень грунтовых вод и частые подъёмы воды при наводнениях приводят к периодическому их затоплению.
2. Большая часть трубопроводов и других элементов тепловых сетей ГУП "ТЭК СПб" находится в зонах с повышенной коррозионной активностью грунта (насыпные и торфяные почвы, повышенная концентрация хлоридов, блуждающие токи, высокий уровень и электропроводность грунтовых вод).

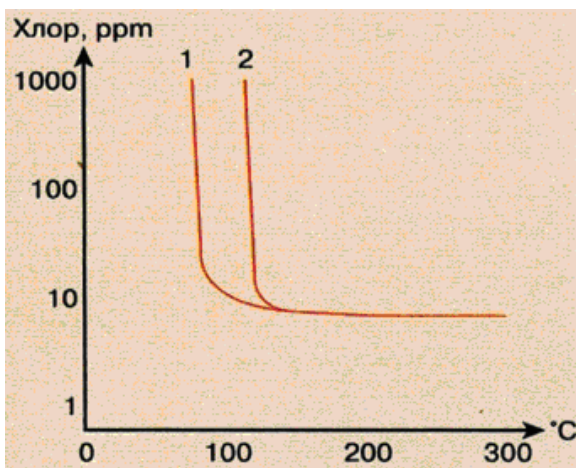


Рис 1 Изменение скорости коррозии в зависимости от содержания хлора и температуры

3. Посыпание проезжей части дорог солью, и увеличение концентрации хлоридов в грунте приводит к снижению коррозионной стойкости металла (аустенитной нержавеющей стали) наружного слоя компенсаторов (75% теплотрасс расположены около проезжей части дорог). Как известно, скорость коррозии аустенитной стали резко увеличивается в среде содержащей хлор (рис 1)

Кроме вышеперечисленных, на снижение сроков службы сильфонных компенсаторов влияют следующие факторы:

1. Конструкция сильфонных компенсаторов не обеспечивает 100 % герметичности гофр от проникновения грунтовых вод. В настоящее время внутренний объем сильфонного компенсирующего устройства герметизируется смоляной паклей, набиваемой в кольцевое пространство между внутренней поверхностью защитного кожуха и наружной поверхностью теплоизолированной трубы. При изменении температуры теплоносителя происходит продольное перемещение трубопровода относительно защитного кожуха, что способствует появлению разрывов в герметизирующем слое. Вследствие этого, на наружную поверхность компенсатора попадают грунтовые воды. Таким образом, существующая конструкция устройства не обеспечивает гарантированной защиты наружной поверхности сильфонного компенсатора от воздействия поверхностных вод.
2. Опыт монтажа сильфонных компенсаторов, которые устанавливались на трубопроводах наземной и подвальной прокладки, показывает, что надёжно укрепить их на подвижные и направляющие опоры представляет большую сложность.
3. Длительное хранение компенсаторов под открытым небом без антикоррозийной защитной смазки, нарушения инструкции по их транспортировке без защитных кожухов приводят к ударам, появлению царапин, сколам и т.д.
4. Нарушение технологии строительного-монтажных работ приводит к проникновению влаги под изоляцию или нарушению соосности, что сокращает срок работы компенсатора.

В процессе внедрения опытной партии сильфонных компенсаторов проводился их периодический осмотр. На Восточном филиале в районе пр. Солидарности дом 4 в 1988 году было проведено обследование сильфонного компенсатора, изготовленного Ждановским заводом по ТУ 5.551-19702-82 и установленного на трубопроводе тепловой сети. При установке компенсатора его гофры были обильно смазаны солидолом. Результаты осмотра показали, что солидол от температурного воздействия частично стёк с гофр. Густой темно-коричневый слой покрывал всю поверхность гофр, препятствуя попаданию на него грунтовых вод. На очищенной от солидола поверхности гофр не было обнаружено изменений цвета металла и его повреждений. Кроме того, было установлено, что тепловая трасса, расположенная в заболоченной местности, осушалась работающим сопутствующим дренажом. Одновременно был обследован компенсатор, расположенный в камере и не имевший защитного кожуха. Камера имела следы затопления грунтовыми водами. Осмотр показал, что после 6 лет эксплуатации наблюдается нарушение соосности трубопроводов и деформация гофр компенсатора. Коррозия металла гофр отсутствовала. Подобные дефекты были обнаружены еще на 4 компенсаторах, расположенных в камерах в различных частях города. Эксплуатация для уменьшения коррозионного воздействия грунта на компенсатор начала наносить лакокрасочные покрытия. Так, например, на Восточном филиале на поверхность гофр сильфонного компенсатора был нанесен защитный слой кузбасского лака. Последующие наблюдения показали, что окраска положительно сказалась на состоянии металла компенсатора.

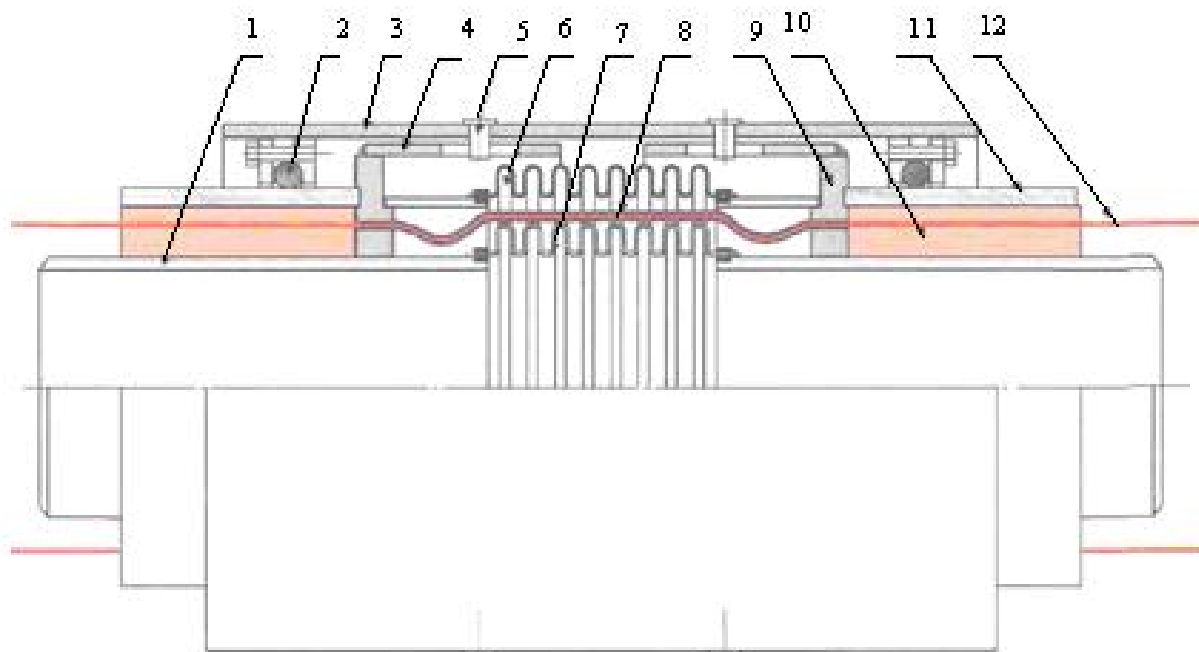
Ещё в 1983 году Технический совет (протокол №3 от 5 01 83 г.) Главного топливно-энергетического управления Ленинграда потребовал от проектных, конструкторских организаций и заводов-изготовителей решить проблему влияния хлоридов на долговечность металла гофр. Однако это требование не было реализовано. В настоящее время некоторые заводы – изготовители сильфонных компенсаторов начали учитывать условия их эксплуатации. Представители ГП СКТБ «Компенсатор» заявили, что они приступили к выпуску новой конструкции сильфонных компенсаторов со сроком службы 20 лет при содержании хлоридов в почве до 200 мг/л. Конструкция защитного кожуха этого компенсатора менее чувствительна к качеству установки подвижных и неподвижных опор.

Выполненный анализ позволяет сделать следующее заключение:

1. Применяемые при изготовлении компенсаторов стали 05X18H10T, 08X18H10T являются нестойкими в условиях воздействия растягивающих нагрузок и высокого содержания хлоридов.
2. Для увеличения сроков службы сильфонных компенсаторов необходимо ужесточить требования к хранению, транспортировке и монтажу с целью недопущения их повреждений и коррозии при их хранении.
3. Предложить предприятиям – изготовителям:
 - ♦ доработать конструкцию компенсирующего устройства таким образом, чтобы обеспечить перемещение компенсатора в защитном кожухе только в продольном направлении. Это обеспечит повышение надёжности конструкции независимо от качества установки подвижных и неподвижных опор.
 - ♦ доработать конструкцию защитного кожуха для обеспечения 100 % герметизации гофр от проникновения грунтовых вод.
 - ♦ дополнить ТУ на изготовление и монтаж сильфонных компенсаторов разделом, определяющим методы контроля качества сборки гидроизоляционной конструкции;

- ◆ предусмотреть нанесение антикоррозионного покрытия на наружную поверхность гофр сильфонных компенсаторов, применяемых в тепловых сетях.
 - ◆ обязательно указывать в ТУ на изготовление, монтаж и эксплуатацию сильфонных компенсаторов их срок службы.
 - ◆ при составлении технических условий на изготовление, монтаж и эксплуатацию сильфонных компенсаторов строго придерживаться требованиям ГОСТа 2.114 – 95 «Технические условия» и ГОСТа Р 50671-94. «Компенсаторы сильфонные металлические для трубопроводов электрических станций и тепловых сетей. Типы, основные параметры и общие технические требования».
4. Для дальнейшего прогнозирования развития ситуации связанной с эксплуатацией сильфонных компенсаторов необходимо:
- ◆ наладить учёт причин выхода из рабочего состояния сильфонных компенсаторов.
 - ◆ проводить ежегодные мониторинги почвы в местах подземной установки компенсаторов в следующем объёме: концентрация хлоридов, сульфатов, удельное электрическое сопротивление, рН.

В 2006 году НПП «Компенсатор» вынесло на обсуждение новую конструкцию компенсатора для стальных трубопроводов с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. Представленный проект компенсатора учитывает ряд предложений, которые были высказаны ГУП «ТЭК СПб».



Для обеспечения жесткости компенсационного устройства при воздействии перерезывающих сил и изгибающих моментов, действующих в любой плоскости, установлена пара цилиндрических направляющих (4), жестко связанных с присое-

динительными патрубками (1) и перемещающихся по внутренней поверхности толстостенного кожуха (3).

Для ограничения сжатия - растяжения основного сильфона (7) и защиты его от возможного воздействия крутящих моментов в устройстве установлены ограничители (5).

Для обеспечения тепловой изоляции присоединительных патрубков (1) пространство между полиэтиленовой оболочкой (11), вставленной в кольцевую проточку опорного фланца (9), и наружной поверхностью промежуточного патрубка (1) заполнено пенополиуретаном (10).

Гидроизоляция подвижной части компенсационного устройства выполняется с помощью сильфонного уплотнения (6), закрепленного на опорных фланцах (9). Уплотнение (6) гарантирует надежную защиту основного сильфона (7) и проводов системы ОДК (12) от проникновения грунтовых вод в течение всего срока службы компенсатора. На наружную поверхность сильфонного уплотнения (6) нанесено антикоррозионное покрытие.

Для исключения попадания грунта и ограничения попадания грунтовых вод во внутрь компенсационного устройства по торцам кожуха (3) установлены уплотнительные резиновые кольца (2), которые плотно прижаты к перемещающейся полиэтиленовой оболочке (11) теплоизоляции патрубков.

Во избежание замыкания проводов системы ОДК (12) о металлические поверхности, провода (12) внутри компенсационного устройства прокладываются в изоляции (8), стойкой при температуре до 150°C. Длина проводов системы ОДК внутри компенсационного устройства рассчитана с учетом его растяжения на величину максимального рабочего хода.

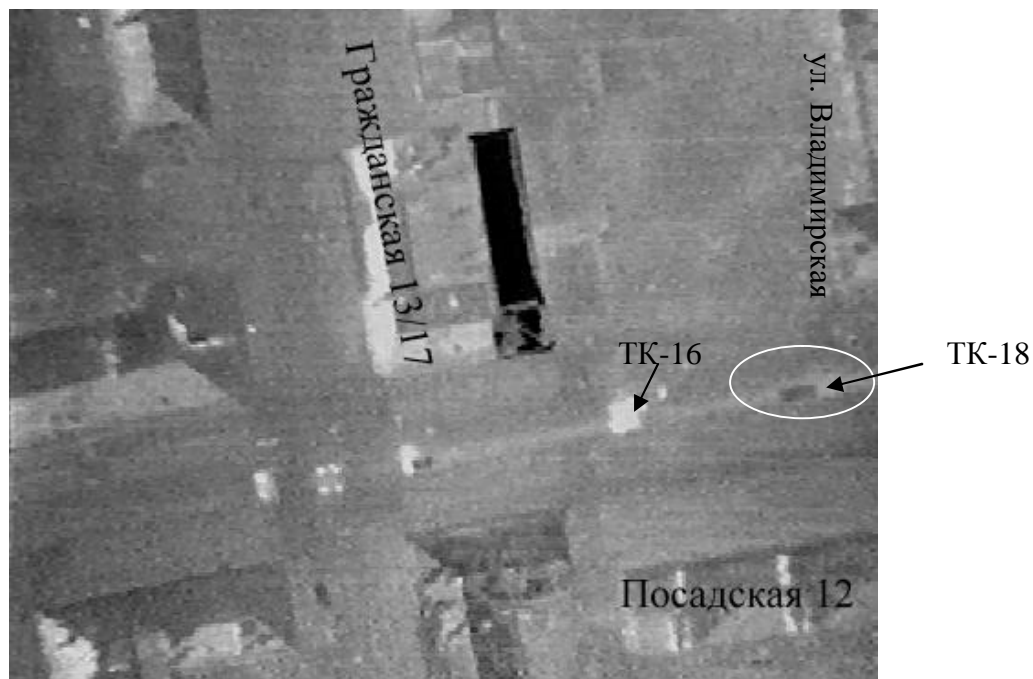
Расчетные параметры теплоносителя: вода с температурой до 150°C и скоростью до 5 м/с. Содержание хлоридов в проводимой среде до 200 мг/л. Условное давление 1,6 и 2,5 МПа,

Назначенная наработка сильфонного компенсационного устройства при циклических перемещениях с амплитудами осевого хода {сжатие-растяжение} и действии внутреннего давления, равного P_v , гарантируется с вероятностью безотказной работы не менее 0,95 для трех возможных режимов эксплуатации:

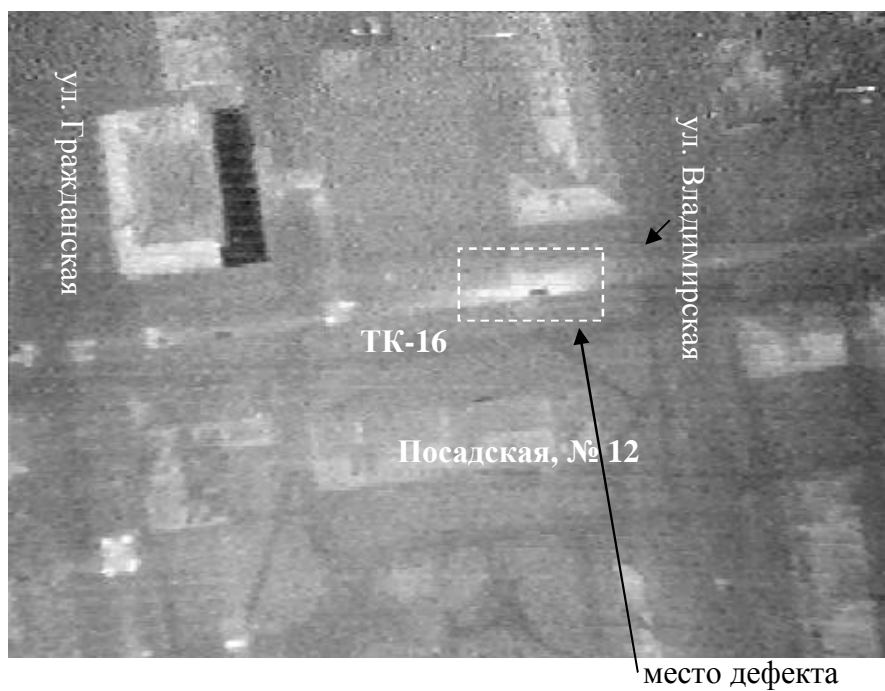
- аварийного (100%-ого) режима: компенсация деформаций теплопровода при изменении температуры от расчетной температуры наружного воздуха для проектирования отопления (средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92) до максимальной расчетной температуры теплоносителя;
- режима отопления (70%-ого режима): компенсация деформаций теплопровода при изменении температуры от минимальной до максимальной расчетной температуры теплоносителя;
- эксплуатационного (20%-ого) режима: компенсация деформаций теплопровода при изменении температуры теплоносителя $\pm 20^\circ$ от средней эксплуатационной.

Назначенный срок службы сильфонного компенсационного устройства, в зависимости от содержания хлоридов в теплоносителе, до 30 лет.

Приложение 1



г. Кронштадт, декабрь 2004 г.
Участок магистрали по ул. Пасадская, ТК18 – ТК16 Ø 500



г. Кронштадт, ноябрь 2005 г.
Участок магистрали по ул. Пасадская, ТК18 – ТК16 Ø 500
Дефект на сальниковом компенсаторе



г. Кронштадт, декабрь 2004 г.
Участок магистрали по ул. Кроншоссе, ТК4 – ТК3 Ø 500



место дефекта

г. Кронштадт, март 2005 г.
Участок магистрали по ул. Кроншоссе, ТК4 – ТК3 Ø 500
Дефект на сальниковом компенсаторе в ТК-4

Определение экономической эффективности применения сильфонных компенсаторов в ГУП «ТЭК СПб»

В связи с отсутствием необходимых статистических данных и методик, экономический эффект от применения сильфонных компенсаторов не определялся по следующим показателям:

1. Увеличение затрат на ремонтно-восстановительные работы, связанные с сокращением срока службы оборудования теплоисточников и трубопроводов тепловых сетей.
2. Термическое воздействие на окружающую среду.
3. Снижение надежности и качества теплоснабжения потребителей.

На существующих трубопроводах тепловой сети экономическая эффективность от замены сальниковых компенсаторов на сильфонные определялась по показателям:

- ◆ уменьшение потребления холодной воды;
- ◆ уменьшение потребления топлива;
- ◆ уменьшение потребления электроэнергии;
- ◆ снижение затрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом компенсаторов;

При реконструкции и строительстве новых подземных трубопроводов тепловой сети применение сильфонных компенсаторов позволяет отказаться от строительства камер для установки компенсаторов, а, следовательно, к снижению стоимости капитальных затрат.

Методика

расчета экономической эффективности при замене на действующих тепловых сетях сальниковых компенсаторов на сильфонные.

1. Уменьшение потребления холодной воды:

$$\Delta G_{\text{хв}} = G_{\text{х.в.}}^n - G_{\text{х.в.}}^{\text{с.н.}}, \quad (\text{м}^3/\text{год})$$

где:

$G_{\text{х.в.}}^n$ – снижение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей ($\text{м}^3/\text{год}$):

$G_{\text{х.в.}}^{\text{с.н.}}$ – снижение расхода холодной воды в технологических установках на собственные нужды теплоисточников ($\text{м}^3/\text{год}$).

$$G_{\text{х.в.}}^n = G_{\text{х.в.о.п}}^n - G_{\text{х.в.м.о}}^n, \quad (\text{м}^3/\text{год})$$

где:

$G_{x.v.o.n.}^n$ - снижение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей за отопительный период (м³/год);

$G_{x.v.m.o.}^n$ - снижения протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей за межотопительный период (м³/год).

$$G_{x.v.o.n.}^n = V_{m.c} \cdot N_k \cdot g_{ym} \cdot T_{o.n} \cdot 10^3, \quad (\text{м}^3/\text{год})$$

$$G_{x.v.m.o.}^n = \frac{V_{m.c} \cdot N_k \cdot g_{ym} \cdot 365 \cdot 4 \cdot T_{o.n} \cdot 10^3}{2}, \quad (\text{м}^3/\text{год})$$

где:

$V_{m.c}$ – водяной объем тепловой сети, (м³)

N_k – количество установленных сифонных компенсаторов, (шт.);

g_{ym} – усредненная удельная протечка теплоносителя через уплотнение сальникового компенсатора (л/м³ · час · шт.)

$T_{o.n}$ – продолжительность отопительного периода (час);

365 – количество дней в году (дней);

Снижение количества потребления холодной воды на собственные нужды теплоисточников:

$$G_{x.v.}^{c.n.} = [K_1 \cdot (K_2 \cdot K_3)] \cdot G_{x.v.}^n \cdot g_{np}, \quad (\text{м}^3/\text{год})$$

где:

K_1 – обобщенный коэффициент, учитывающий удельный расход пара на выработку подпиточной воды и дополнительный расход воды для расхолаживания продувочной воды при сбросе ее в канализационный коллектор;

K_2 – коэффициент, определяющий удельный расход пара на выработку подпиточной воды (т/м³);

K_3 – коэффициент, определяющий удельные затраты воды на регенерацию фильтров химической водоподготовки (ХВО), (м³/м³);

g_{np} – коэффициент непрерывной продувки паровых котлов;

Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления холодной воды:

$$\mathcal{E}_{\text{зод. в.}} = (\Delta G_{x.v.} \cdot C_{x.v.}) \cdot 10^{-3}, \quad (\text{тыс. руб.})$$

где:

$C_{x.v.}$ – стоимость 1 м³ холодной воды (руб.)

2. Снижение потребления топлива:

$$\Delta B = \Delta B_n + \Delta B_{сн}, \quad (\text{тут/год})$$

где:

ΔB_n – снижение расхода топлива за счет исключения протечек горячего теплоносителя через уплотнения сальниковых компенсаторов;

$\Delta B_{сн}$ - уменьшение потребления топлива за счет снижения потерь тепла на собственные нужды теплоисточников.

$$\Delta B_n = \frac{Q_n}{7000} \cdot 10^3, \quad (\text{тут/год})$$

где:

ΔQ_n – экономия тепла за счет ликвидации протечек горячего теплоносителя через уплотнения сальниковых компенсаторов, (Гкал/год);

7000 ккал/кг – теплота сгорания условного топлива, (ккал/кг);

η – коэффициент полезного действия паровых котлов;

Экономия тепла за счет ликвидации протечек горячего теплоносителя через уплотнения сальниковых компенсаторов определяется:

$$Q_n = \left[\left(\frac{t_{np} + t_{об}}{2} - t_{x.v.o.n} \right) \cdot G_{x.v.o.n}^n + (t_{z.v.c} - t_{x.v.m.o}) \cdot G_{x.v.m.o}^n \right] \cdot 10^3, \quad (\text{Гкал/год})$$

где:

t_{np} – усредненная температура теплоносителя в прямом трубопроводе тепловой сети в отопительном периоде, (°C);

$t_{об}$ – усредненная температура теплоносителя в обратном трубопроводе тепловой сети в отопительном периоде, (°C);

$t_{x.v.o.n}$ – усредненная температура холодной воды в отопительном периоде, (°C);

$t_{z.v.c}$ – усредненная температура горячего водоснабжения в межотопительном периоде, (°C);

$t_{x.v.m.o}$ – усредненная температура холодной воды в межотопительном периоде, (°C);

Уменьшение потребления топлива за счет снижения потерь тепла на собственные нужды теплоисточников:

$$\Delta B_{с.н.} = \frac{Q_{с.н.}}{7000} \cdot 10^3, \quad (\text{тут/год})$$

$\Delta Q_{сн}$ – экономия тепла за счет снижения потерь тепла на собственные нужды теплоисточников (Гкал/год);

$$\Delta Q_{сн} = [G_{x.v.}^n \cdot g_{np} \cdot (i_n - i_{xв})] \cdot K_2 \cdot 10^{-3}, \quad (\text{Гкал/год})$$

где:

$G_{x.v.}^n$ – снижение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей, (м³/год);

g_{np} – коэффициент непрерывной продувки паровых котлов;

i_n – теплосодержание продувочной воды паровых котлов, (ккал/кг);

$i_{xв} = t_{x.v.}$ – теплосодержание холодной воды, (ккал/кг);

K_2 – коэффициент, учитывающий удельный расход пара на выработку подпиточной воды, (т/м³).

Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления топлива:

$$\mathcal{E}_{\text{год. т.}} = (\Delta B \cdot C_m) \cdot 10^{-3}, \quad (\text{тыс. руб.})$$

где:

C_m – стоимость 1 т условного топлива (руб.)

3. Уменьшение потребления электроэнергии:

$$\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_m, \quad (\text{кВт} \cdot \text{ч/год})$$

где:

ΔE_e - уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при выработке подпиточной воды;

ΔE_m - уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при транспортировке подпиточной воды.

Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при выработке подпиточной воды:

$$\Delta E_e = \mathcal{G}_{x.e.}^n \cdot K_2 \cdot K_5, \quad (\text{кВт} \cdot \text{ч/год})$$

где:

$\mathcal{G}_{x.e.}^n$ - уменьшение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей, ($\text{м}^3/\text{год}$);

K_2 - коэффициент, учитывающий удельный расход пара на выработку подпиточной воды ($\text{т}/\text{м}^3$);

K_5 – коэффициент, учитывающий удельный расход электроэнергии на выработку пара в паровых котлах, ($\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{т}$).

Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при транспортировке подпиточной воды:

$$\Delta E_m = \mathcal{G}_{x.e.}^n \cdot K_4, \quad (\text{кВт} \cdot \text{ч/год})$$

где:

$\mathcal{G}_{x.e.}^n$ - снижение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей, ($\text{м}^3/\text{год}$);

K_4 – коэффициент, учитывающий усредненный удельный расход электроэнергии на перекачку 1 м^3 воды, ($\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$).

Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления электроэнергии:

$$\mathcal{E}_{\text{год. e.}} = (\Delta E \cdot C_e) \cdot 10^{-3}, \quad (\text{тыс. руб.})$$

где:

C_e – стоимость 1 кВт-ч электроэнергии (руб.)

4. Снижение затрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом компенсаторов:

$$\Delta Z_{\text{мор}} = \sum (C_i \cdot n_i) \times Z_p \times 12, \quad (\text{тыс. руб./год})$$

где:

C_i – норматив численности рабочих на проведение текущего и капитального ремонта 1 ед. сальникового компенсатора i -го диаметра, (чел./сут.);

n_i – количество компенсаторов i -го диаметра, (шт.);

Z_p – средняя заработная плата рабочего занятого текущим и капитальным ремонтом компенсаторов с учетом начислений, (тыс. руб./мес.);

5. Суммарная экономия затрат в денежном выражении от замены сальниковых компенсаторов на сильфонные на действующих тепловых сетях:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{E}_{\text{год. в.}} + \mathcal{E}_{\text{год. т.}} + \mathcal{E}_{\text{год. е.}} + \Delta Z_{\text{мор}}, \quad (\text{тыс. руб./год})$$

6. Усредненная суммарная экономия затрат в денежном выражении на 1 компенсатор:

$$\mathcal{E}_{\text{год/комп}} \approx \frac{\mathcal{E}_{\text{год}}}{N_{\kappa}^i} \quad (\text{тыс. руб./год})$$

7. Снижение капитальных затрат при реконструкции и новом строительстве тепловых сетей, связанных с отсутствием необходимости устройства камер для обслуживания компенсаторов:

$$\mathcal{E}_{\kappa} \approx \frac{\mathcal{E}_{\kappa}^i \cdot n_{\kappa}^i}{2A}, \quad (\text{тыс. руб./год})$$

где:

\mathcal{E}_{κ}^i – капитальные затраты на устройство камеры для обслуживания компенсаторов i -го диаметра, (тыс. руб.);

n_{κ}^i – количество камер для обслуживания компенсаторов i -го диаметра, (шт.);

A – срок полезного использования магистральных тепловых сетей;

2 – количество компенсаторов, расположенных в 1 камере.

Исходные данные для расчета экономической эффективности приведены в таблице 4.

Результаты расчетов приведены в таблицах 5 – 9.

Литература:

1. ГОСТ 21563-93 от 1995, Котлы водогрейные.
2. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку тепла отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий. АКХ им. К.Д. Памфилова, Москва, 1994 г.
3. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. ЗАО «Роскоммунэнерго».
4. В.М. Липовских - Главный инженер тепловых сетей АО «Мосэнерго». Основные направления энергоэффективности при эксплуатации тепловых сетей. Экологические системы, №7, Москва, июль 2002 г.
5. Методические рекомендации по расчету экономии электроэнергии и топлива. Трест «Оргтехстрой», ГлавТЭУ Исполкома Ленсовета, 1978 год. Ленинград.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утверждены приказом Минэнерго России от 19.06 2003 года.
7. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов (ПБ 10-574-03), утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 11.06 2003 № 88.
8. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок. Утверждены приказом Минэнерго РФ от 24 марта 2003 г. N 115
9. Постановление Правительство Российской Федерации от 1 января 2002 года. №1 «О классификации основных средств, включаемые в амортизационные группы». Москва, 2002 г.
10. Рекомендации по нормированию труда работников энергетического хозяйства. Часть 1, Москва, 1999 г.
11. Санитарные правила горячего водоснабжения от 15 11. 1988 г
12. СНиП 41-01-2003 Тепловые сети. Госстроя России, 2003 год
13. СНиП 2.01.01 – 82. Строительная климатология и геофизика. Минстрой России. М.: 1997
14. Типовая инструкция по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения, утверждена приказом Госстроя России от 13.12.2000 года № 285.

**Исходные данные для расчета экономической эффективности
применения сильфонных компенсаторов**

Таблица 4

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Величина
1.	Водяной объем тепловой сети диаметра: - до 300 мм - свыше 300 до 600 мм - свыше 600 до 1200 мм	V_{mc}	m^3	54280 74770 76640
2.	Усредненная протечка теплоносителя через уплотнение сальникового компенсатора диаметром*: - до 300 мм - свыше 300 до 600 мм - свыше 600 до 1200 мм	g_{ym}	л/ m^3 -час-шт.	0,0002 0,00035 0,00065
3.	Количество сильфонных компенсаторов, установленных вместо сальниковых диаметром: - до 300 мм - свыше 300 до 600 мм - свыше 600 до 1000 мм	N_k	шт.	9054 3088 1218
4.	Продолжительность отопительного периода:	$T_{o.n}$	час/год	5280
6.	Коэффициент непрерывной продувки паровых котлов:	g_{np}	-	0,05
7.	Обобщающий коэффициент, учитывающий удельный расход пара на выработку подпиточной воды и дополнительный расход охлаждающей воды перед сбросом продувочной воды в канализационный коллектор:	K_1	-	0,34
8.	Коэффициент, учитывающий удельный расход пара на выработку подпиточной воды:	K_2	-	0,13
9.	Коэффициент, определяющий удельные затраты воды на регенерацию фильтров ХВО:	K_3	-	0,012
10.	Коэффициент полезного действия паровых котлов:	η	-	0,9
11.	Усредненная температура теплоносителя в прямом трубопроводе тепловой сети в отопительном периоде:	t_{np}	$^{\circ}C$	+80
12.	Усредненная температура теплоносителя в обратном трубопроводе тепловой сети в отопительном периоде:	$t_{об}$	$^{\circ}C$	+44
13.	Усредненная температура холодной воды в отопительном периоде:	$t_{хв.о.п}$	$^{\circ}C$	+5

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Величина
14.	Усредненная температура холодной воды в межотопительном периоде:	$t_{хв. о.п}$	°С	+15
15.	Усредненная температура горячего водоснабжения в межотопительном периоде:	$t_{гвс.}$	°С	+60
16.	Теплосодержание продувочной воды паровых котлов:	i_n	ккал /кг	90
17.	Коэффициент, учитывающий усредненный удельный расход электроэнергии на перекачку 1 м ³ воды:	K_4	кВт-ч/м ³	1,0
18.	Коэффициент, учитывающий удельный расход электроэнергии на выработку 1т пара в паровых котлах:	K_5	кВт-ч/т	3,0
19.	Норматив численности рабочих на проведение текущего и капитального ремонта 1 ед. сальникового компенсатора диаметром: - до 300 мм - свыше 300 до 600 мм - свыше 600 до 1200 мм	C_i	чел./сут.	0,025 0,058 0,091
20.	Средняя заработная плата рабочего, занятого текущим и капитальным ремонтом компенсаторов с начислениями:	$З_p$	тыс. руб./мес.	9,048
21.	Средние капитальные затраты на устройство камеры, размером 3×3 м, для обслуживания компенсаторов:	$ΔЗ_k$	тыс. руб.	300,0
22.	Срок полезного использования магистральной тепловой сети (лет)	A	лет	10
23.	Стоимость 1 т условного топлива:	$Ц_{м\text{ут}}$	руб	1359,0
24.	Стоимость 1 м ³ холодной воды:	$Ц_6$	руб	13,48
25.	Стоимость 1 кВт-ч электроэнергии:	$Ц_3$	руб	0,92

***Примечание:**

В связи с тем, что ГУП «ТЭК СПб» осуществляет теплоснабжение по открытой схеме, при которой достаточно трудно определить величину снижения протечек теплоносителя при замене сальниковых компенсаторов на сильфонные, за основу значения $g_{\text{ут}}$ были взяты данные АО «Мосэнерго».

**Результаты расчетов экономической эффективности
применения сильфонных компенсаторов
на действующих тепловых сетях диаметром до 300 мм**

Таблица 5

№ п/п	Расчетный параметр	Обозначение	Размерность	Величина
1.	Снижение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей:	$\Delta G_{\text{ХВ}}^{\text{п}}$	м ³ /год	690000
2.	Снижение потребления холодной воды на собственные нужды теплоисточников:	$\Delta G_{\text{ХВ}}^{\text{сн}}$	м ³ /год	11730
3.	Суммарное уменьшение потребления холодной воды:	$\Delta G_{\text{ХВ}}$	м ³ /год	701730
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления холодной воды:	$\mathcal{E}_{\text{год. в.}}$	тыс.руб./год	9 460
4.	Уменьшение потребления топлива за счет исключения протечек горячего теплоносителя через уплотнения сальниковых компенсаторов:	$\Delta B_{\text{п}}$	тут/год	5927
5.	Уменьшение потребления топлива за счет снижения потерь тепла на собственные нужды теплоисточников:	$\Delta B_{\text{сн}}$	тут/год	60
6.	Суммарное уменьшение потребления топлива:	ΔB	тут/год	5987
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления топлива:	$\mathcal{E}_{\text{год. в.}}$	тыс.руб./год	8 137
7.	Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при выработке подпиточной воды:	$\Delta E_{\text{в}}$	кВт-ч/год	269100
8.	Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при транспортировке подпиточной воды:	$\Delta E_{\text{т}}$	кВт-ч/год	690000
9.	Суммарное уменьшение потребления электроэнергии:	ΔE	кВт-ч/год	959100
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления электроэнергии:	$\mathcal{E}_{\text{год. е.}}$	тыс.руб./год	882
10.	Снижение затрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом компенсаторов:	$\Delta Z_{\text{тор}}$	тыс.руб./год	24 576
11.	Суммарная экономия затрат в денежном выражении от замены сальниковых компенсаторов на сильфонные на действующих тепловых сетях:	$\mathcal{E}_{\text{год}}$	тыс.руб./год	43 055
12.	Усредненная суммарная экономия затрат в денежном выражении на 1 компенсатор:	$\mathcal{E}_{\text{год/комп}}$	тыс.руб./год	4,76

**Результаты расчетов экономической эффективности
применения сильфонных компенсаторов
на действующих тепловых сетях диаметром свыше 300 до 600 мм**

Таблица 6

№ п/п	Расчетный параметр	Обозначение	Размерность	Величина
1.	Снижение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей:	$\Delta G_{\text{XB}}^{\text{п}}$	м ³ /год	567300
2.	Снижение потребления холодной воды на собственные нужды теплоисточников:	$\Delta G_{\text{XB}}^{\text{сн}}$	м ³ /год	9640
3.	Суммарное уменьшение потребления холодной воды:	ΔG_{XB}	м ³ /год	576940
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления холодной воды:	$\mathcal{E}_{\text{год. в.}}$	тыс.руб./год	7 780
4.	Уменьшение потребления топлива за счет исключения протечек горячего теплоносителя через уплотнения сальниковых компенсаторов:	$\Delta B_{\text{п}}$	тут/год	4873
5.	Уменьшение потребления топлива за счет снижения потерь тепла на собственные нужды теплоисточников:	$\Delta B_{\text{сн}}$	тут/год	50
6.	Суммарное уменьшение потребления топлива:	ΔB	тут/год	4923
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления топлива:	$\mathcal{E}_{\text{год. в.}}$	тыс.руб./год	6 690
7.	Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при выработке подпиточной воды:	$\Delta E_{\text{в}}$	кВт-ч/год	221247
8.	Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при транспортировке подпиточной воды:	$\Delta E_{\text{т}}$	кВт-ч/год	567300
9.	Суммарное уменьшение потребления электроэнергии:	ΔE	кВт-ч/год	788547
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления электроэнергии:	$\mathcal{E}_{\text{год. е.}}$	тыс.руб./год	726
10.	Снижение затрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом компенсаторов:	$\Delta Z_{\text{тор}}$	тыс.руб./год	19 446
11.	Суммарная экономия затрат в денежном выражении от замены сальниковых компенсаторов на сильфонные на действующих тепловых сетях:	$\mathcal{E}_{\text{год}}$	тыс.руб./год	34 642
12.	Усредненная суммарная экономия затрат в денежном выражении на 1 компенсатор:	$\mathcal{E}_{\text{год/комп}}$	тыс.руб./год	11,23

**Результаты расчетов экономической эффективности
применения сильфонных компенсаторов
на действующих тепловых сетях диаметром свыше 600 до 1200 мм**

Таблица 7

№ п/п	Расчетный параметр	Обозначение	Размерность	Величина
1.	Снижение протечек теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей:	$\Delta G_{\text{ХВ}}^{\text{П}}$	м ³ /год	425950
2.	Снижение потребления холодной воды на собственные нужды теплоисточников:	$\Delta G_{\text{ХВ}}^{\text{СН}}$	м ³ /год	7240
3.	Суммарное уменьшение потребления холодной воды:	$\Delta G_{\text{ХВ}}$	м ³ /год	433190
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления холодной воды:	$\mathcal{E}_{\text{год. в.}}$	тыс.руб./год	5 840
4.	Уменьшение потребления топлива за счет исключения протечек горячего теплоносителя через уплотнения сальниковых компенсаторов:	$\Delta B_{\text{П}}$	тут/год	3659
5.	Уменьшение потребления топлива за счет снижения потерь тепла на собственные нужды теплоисточников:	$\Delta B_{\text{СН}}$	тут/год	37
6.	Суммарное уменьшение потребления топлива:	ΔB	тут/год	3696
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления топлива:	$\mathcal{E}_{\text{год. в.}}$	тыс.руб./год	5 023
7.	Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при выработке подпиточной воды:	$\Delta E_{\text{В}}$	кВт-ч/год	166120
8.	Уменьшение потребления электроэнергии на собственные нужды теплоисточников при транспортировке подпиточной воды:	$\Delta E_{\text{Т}}$	кВт-ч/год	425950
9.	Суммарное уменьшение потребления электроэнергии:	ΔE	кВт-ч/год	592070
	Экономическая эффективность в денежном выражении от уменьшения потребления электроэнергии:	$\mathcal{E}_{\text{год. е.}}$	тыс.руб./год	545
10.	Снижение затрат, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом компенсаторов:	$\Delta Z_{\text{тор}}$	тыс.руб./год	12 034
11.	Суммарная экономия затрат в денежном выражении от замены сальниковых компенсаторов на сильфонные на действующих тепловых сетях:	$\mathcal{E}_{\text{год}}$	тыс.руб./год	23 442
12.	Усредненная суммарная экономия затрат в денежном выражении на 1 компенсатор:	$\mathcal{E}_{\text{год/комп}}$	тыс.руб./год	19,27

**Результаты расчетов экономической эффективности
применения сифонных компенсаторов
на реконструируемых и вновь строящихся тепловых сетях**

Таблица 8

№ п/п	Расчетный параметр	Обозначение	Размерность	Величина
1.	Снижение капитальных затрат при реконструкции и новом строительстве тепловых сетей, связанных с отсутствием необходимости устройства камер для обслуживания компенсаторов (применительно для 1 камеры размером 3×3 м):	\mathcal{Z}_k^i	тыс.руб./год	15,0

**Удельная годовая экономическая эффективность
от замены сальникового компенсатора на сифонный**

Таблица 9

Диаметр компенсатора	Холодная вода		Топливо		Электрoэнергия		Обслуживание и ремонт
	м ³	тыс.руб.	т/т	тыс.руб.	кВт-ч	тыс.руб.	тыс.руб.
до 300 мм	77,5	1,05	0,7	0,90	105,9	0,10	2,71
от 300 до 600 мм	186,8	2,52	1,6	2,17	255,4	0,24	6,30
от 600 до 1200 мм	355,7	4,80	3,0	4,12	486,1	0,45	9,90