

Доклад на НТС РАО «ЕЭС России»
Подсеция «Системы централизованного теплоснабжения».

«Методики определения и оценки фактических тепловых потерь через изоляцию в водяных тепловых сетях систем централизованного теплоснабжения без отключения потребителей»

Авторы: Байбаков С. А., Тимошкин А. С.

Транспортировка тепла от теплоисточника до потребителей в современных системах централизованного теплоснабжения связана с потерями тепловой энергии, и в том числе, через тепловую изоляцию трубопроводов. В различных выступлениях и публикациях величина тепловых потерь при транспортировке в существующих тепловых сетях оценивается в 15-20% от отпускаемой с источников тепловой энергии. Тепловые потери являются важным тарифообразующим фактором и одним из показателей энергетической эффективности эксплуатации тепловых сетей, поэтому определение этих потерь является важной практической задачей.

Тепловые потери через изоляцию зависят от многих факторов, включая протяженность трубопроводов различных диаметров, применяемые теплоизоляционные конструкции, принятые температурные режимы, состояние тепловых сетей и сроки их эксплуатации, поэтому тепловые потери являются индивидуальной характеристикой каждой тепловой сети и должны определяться для каждой сети индивидуально.

В первом приближении тепловые потери могут быть определены в соответствии с нормативными документами по проектированию тепловой изоляции, нормами проектирования и различными СНиП. Но как показывает опыт, величина нормативных тепловых потерь в значительной степени отличается от фактической, определяющейся реальным состоянием тепловой изоляции. В этих условиях важную роль играют методы, позволяющие определить это состояние и внести корректировки в нормативную величину потерь.

До последнего времени определение фактических тепловых потерь в тепловых сетях проводилось на основании результатов испытаний этих сетей на тепловые потери.

Для проведения испытаний выбирается магистраль, участки которой по типу прокладки и конструкции изоляции являются «характерными» для данной сети. Испытываемая магистраль отключается от распределительных сетей. Испытания проводятся на циркуляционном кольце, состоящем из подающей и обратной линий головных участков выбранной магистрали с перемычкой между ними на конечном участке кольца. Входящие в испытываемое кольцо участки трубопроводов должны составлять не менее 20% от материальной характеристики тепловой сети. По кольцу осуществляется проток воды с малым расходом, обеспечивающим

возможность достоверного измерения температур по участкам. При этом измеряются расход циркулирующей воды и ее охлаждение в результате тепловых потерь в подающей и обратной линиях. По испытанным участкам определяется коэффициент отношения фактических среднегодовых тепловых потерь к нормативным значениям при среднегодовых для тепловой сети условиях. Результаты испытаний в виде полученных коэффициентов распространяются на участки тепловой сети с «аналогичными» испытанным типами прокладок и теплоизоляционных конструкций с учетом фактора времени эксплуатации этих участков. Такое распространение результатов значительно снижает точность определения фактических тепловых потерь для всей тепловой сети в целом.

Как следует из приведенного краткого описания, действующая методика является весьма трудоемкой: она требует отключения потребителей, изменения схемы сети, использования специального оборудования на источнике тепла, а также многочисленного персонала для одновременной записи измеряемых параметров. Кроме того, в процессе проведения испытаний не всегда удается надежно отключить ответвления и потребителей, что приводит к значительным утечкам воды из испытываемого кольца и снижению достоверности полученных результатов. Поэтому на практике испытания тепловых сетей на тепловые потери до недавнего времени проводились крайне редко или не проводились вообще.

Приведенная выше методика оправдана в условиях недостаточного количества современной измерительной аппаратуры в тепловых сетях и на тепловых пунктах потребителей (абонентских вводах).

В настоящее время, в связи с оснащением источников и потребителей тепловой энергии современной измерительной аппаратурой, входящей в состав приборов учета отпуска и потребления тепла и имеющей возможность архивирования измеряемых параметров ситуация в значительной степени меняется. Имеется большое количество данных по отпуску тепла и параметрам теплоносителя (расходам и температурам) в различных точках сети. При этом, приборами учета оборудованы не все потребители и, следовательно, величину тепловых потерь невозможно определить как разность отпуска и потребления тепловой энергии. Однако обработка измеряемых параметров даже в этих условиях может позволить оценить величину тепловых потерь не проводя специальных испытаний, не меняя режимы эксплуатации тепловых сетей и не отключая потребителей.

Это обусловило появление в последнее время различных методик определения фактических тепловых потерь в тепловых сетях при эксплуатационных условиях. Такие методики основаны на измерении тепловых потерь от источника до потребителей с приборами учета и определении на основании этих данных некоторых различных показателей, которые потом распространяются на оставшуюся часть тепловых сетей. Следует отметить, что применяемые показатели, как правило, зависят от режима работы сети и могут вносить значительную погрешность при распространении, а сами методики

позволяют определить тепловые потери и их соответствие нормативным значениям только для тепловой сети в целом, без разбивки по участкам или хотя бы по типам применяемых прокладок трубопроводов. При этом под участком сети следует понимать участок трубопровода с постоянным по длине диаметром и расходом воды, а также одним типом прокладки.

Следует отметить, что в зависимости от решаемых задач целесообразно разработать несколько методик, одни из которых позволяют определять фактические тепловые потери с разбивкой по участкам, с целью определения состояния тепловой изоляции хотя бы с точностью до различных типов применяемых прокладок трубопроводов. Другие методики должны позволять определение фактических тепловых потерь по сети в целом для их оценки в рамках проведения энергетических обследований. Для последних желательно определение величины этих потерь без составления расчетной схемы трубопроводов тепловых сетей, что само по себе является трудоемкой задачей.

В соответствии с этим в ВТИ были разработаны две такие методики определения тепловых потерь через изоляцию трубопроводов водяных тепловых сетей, также основывающаяся на результатах измерений параметров, в основном, полученных по данным приборов учета.

Первая из разработанных методик позволяет оценить соотношение фактических и нормативных тепловых потерь с обоснованной разбивкой по участкам сети. По второй, величина тепловых потерь определяется для тепловой сети в целом. Эти методики включают в себя правила предварительной обработки измеряемой информации, оценку ее достоверности, необходимые предварительные расчеты и собственно методику определения тепловых потерь. Первые три пункта хотя и важны, однако ничем принципиально новым не отличаются, методики же определения фактических потерь тепла представляет гораздо больший интерес и им в дальнейшем будет уделено первоочередное внимание.

А. Методика определения тепловых потерь в тепловых сетях с разбивкой по участкам сети.

Основной задачей первой методики является определение величины тепловых потерь по участкам тепловой сети, таким образом, что бы они при известных распределении расходов воды по участкам, температурах окружающей среды, а также температуре воды на источнике тепла за контрольный интервал времени позволяли получить заданное (полученное по результатам измерений) распределение температур на тепловых пунктах потребителей, оборудованных приборами учета или в специально оборудованных измерительной аппаратурой

контрольных точках тепловой сети. При этом предполагается, что распределение тепловых потерь по участкам производится в соответствии с величиной нормативных тепловых потерь и сроку эксплуатации трубопроводов.

Следует отметить, что целью методики является не столько определение состояния тепловой изоляции на отдельных участках, сколько определение правдоподобной величины коэффициентов отношения фактических тепловых потерь к нормативным для различных типов применяемых в тепловой сети прокладок, что позволило бы применять полученные результаты для составления энергетических характеристик и нормирования тепловых потерь.

Предварительно будем считать, что измерения производятся только по приборам учета потребления тепла и промежуточные контрольные точки в тепловой сети отсутствуют.

Для решения поставленной задачи предполагается следующая последовательность действий.

Предварительно, по результатам измерений за достаточно длительный интервал времени (контрольный интервал) определяются средние значения расходов и температур сетевой воды на источнике тепла, расходов и температур воды на потребителях с приборами учета, а также температур окружающей среды (воздуха и грунта на глубине заложения трубопроводов. Так же предварительно, по средним температурам сетевой воды на источнике тепла и температурам окружающей среды производится расчет нормативных тепловых потерь по участкам сети и их распределение между подающей и обратной линиями для подземных прокладок.

В качестве контрольного интервала следует выбирать интервал времени от 5 до 20 суток с относительно стабильными значениями температур наружного воздуха и сетевой воды в наиболее холодный период или для летних условий, для которых снижение температуры сетевой воды по сети будет наибольшим.

По результатам измерений и осреднения расходов воды на источнике тепла и тепловых пунктах производится расчет расходов воды по участкам сети. Для этого определяются расходы воды на тепловые пункты без приборов учета путем распределения разницы расхода воды на источнике тепла и суммарного значения расходов на тепловых пунктах с приборами учета. Распределение производится пропорционально величине расчетной тепловой нагрузки первых. После чего расходы воды по участкам определяются суммированием расходов на тепловые пункты, расположенные после этого участка.

Основным для понимания смысла методики является понятие ветви, которая представляет собой последовательность участков между источником тепла и абонентскими вводами с приборами учета. Расходом ветви является расход воды, равный расходу на ввод с прибором учета в конце ветви. При этом через участок

может проходить несколько ветвей идущих на различные тепловые пункты с приборами учета, присоединенными к сети после рассматриваемого участка.

Определение тепловых потерь производится отдельно для подающей и обратной линий.

Первоначально производится расчет тепловых потерь и их распределения по участкам для подающей линии. Расчет начинается с головного участка сети, расположенного у источника тепла и начальная температура которого равна осредненной температуре в подающей линии на узле учета источника.

В первую очередь определяются фактические тепловые потери по всем выделенным ветвям, проходящим через головной участок от источника тепла. Эти потери определяются из теплового баланса, как произведение разности температур между температурой в подающей линии на источнике тепла и на абонентском вводе в конце ветви и расхода воды на рассматриваемой ветви.

Для всех ветвей рассчитывается величина нормативных тепловых потерь, которая определяется как сумма нормативных потерь по участкам, входящим в каждую ветвь, которые относятся к расходу на этой ветви, при этом нормативные потери по участкам для каждой ветви распределяются между проходящими через этот участок ветвями пропорционально их расходам.

После этого для каждой ветви производится распределение фактических тепловых потерь на ветви по входящим в эту ветвь участкам и в первую очередь для головного участка. Это распределение производится пропорционально доле нормативных тепловых потерь, приходящейся на соответствующую ветвь и сроку эксплуатации трубопровода. Для каждой ветви по входящим в них участкам производится определение отношения фактических тепловых потерь к их нормативной доле, приходящейся на каждую ветвь.

По результатам проведенных расчетов для головного участка сети (участка начинающегося источником тепла) для всех проходящих через него ветвей получены различные значения коэффициентов отношения фактических тепловых потерь к нормативным. По этим данным определяется средний коэффициент для головного участка, который с целью сглаживания результатов определяется как средневзвешенный по протяженности проходящих через головной участок ветвей.

Определенный таким образом коэффициент принимается в качестве основного результата для головного участка и для этого участка производится расчет предполагаемых тепловых потерь, величина которых равна произведению нормативных тепловых потерь по этому участку и полученного коэффициента. Для головного участка из теплового баланса определяется температура в его конце, равная разности температуры в начале участка (на источнике тепла) и отношению фактических тепловых потерь к расходу воды на этом участке. Эта температура принимается равной начальной температуре для следующих по тепловой сети участков, и расчет повторяется, начиная с определения новой величины фактических тепловых потерь по оставшимся частям ветвей (без учета

головного участка), и завершается определением коэффициентов отношения фактических тепловых потерь к нормативным значениям по следующим участкам, ожидаемых тепловых потерь по этим участкам и температур в их конечных точках.

В соответствии с приведенным алгоритмом для каждого входящего в испытываемую часть сети участка определяются ожидаемые фактические тепловые потери через изоляцию трубопроводов, позволяющие получить заданное по результатам измерений распределение температур в различных точках подающей линии тепловой сети и коэффициенты отношения фактических тепловых потерь к нормативным значениям. При этом, под испытываемой частью сети следует понимать все участки, входящие в состав хотя бы одной ветви. На этом определение тепловых потерь по подающей линии считается законченным.

Определение тепловых потерь по обратной линии при отсутствии промежуточных контрольных точек производится в целом по всей сети с распределением по отдельным участкам испытываемой части сети.

Предварительно рассчитывается средняя температура сетевой воды после абонентских вводов без приборов учета в целом. С этой целью определяется тепловая нагрузка таких вводов, как разность средней тепловой нагрузки источника тепла, суммарной тепловой нагрузки абонентских вводов с приборами учета потребления тепла, величины тепловых потерь по подающей линии и нормативных тепловых потерь в обратной линии. Тепловые потери в подающей линии определяются из теплового баланса этой линии как произведение расхода воды на источнике и разности температур между ее значением на источнике и средневзвешенной температуре по совокупности вводов. Средневзвешенная температура совокупности вводов по подающей линии определяется как средняя по расходам воды температура на вводы с приборами учета, рассчитываемая по данным для подающей линии.

Аналогичным образом, как разность расхода воды на источнике и суммарного расхода по приборам учета абонентских вводов определяется суммарный расход воды на вводы без учета потребления тепла. При этих условиях температура в обратной линии после вводов без приборов учета определяется из теплового баланса, как разность средневзвешенной температуры совокупности вводов по подающей линии и отношения суммарной тепловой нагрузки вводов без приборов учета к их общему расходу воды.

Из теплового баланса определяется средняя температура сетевой воды после вводов с приборами учета и, как средневзвешенная по соответствующим расходам воды, определяется средняя температура притоков в обратной линии (средняя температура в обратной линии совокупности абонентских вводов).

На основании средней температуры в обратной линии на источнике тепла и средней температуры в обратной линии совокупности вводов при расходе воды в

обратной линии (на источнике тепла за минусом потерь сетевой воды) определяется суммарная для обратной линии величина тепловых потерь. Эти потери распределяются по отдельным участкам обратной линии пропорционально величине нормативных потерь соответствующих участков и сроку их эксплуатации. На этом расчет по обратной линии считается законченным.

По результатам расчета, для каждого участка испытываемой части сети определяются коэффициенты отношения фактических тепловых потерь к нормативным для условий контрольного интервала.

Для участков с надземной прокладкой, прокладками в проходных каналах и подвалах эти коэффициенты принимаются раздельно для подающей и обратной линий из результатов предварительных расчетов. Для участков с подземной бесканальной прокладкой и прокладкой в непроходных каналах определяются суммарные потери тепла для подающей и обратной линий и на основании полученной величины определяется требуемый коэффициент в целом для участка.

Кроме того, для дальнейшего практического применения, по величине фактических тепловых потерь и их нормативных значений для тепловой сети определяются коэффициенты по различным типам прокладок: для подземной в непроходных каналах и бесканальной, для надземных прокладок, прокладок в туннелях и технических подпольях. Эти коэффициенты могут быть отнесены ко всем участкам сети для соответствующих типов прокладок и, в соответствии с общепринятыми формулами, могут использоваться для пересчета фактических тепловых потерь на среднегодовые или другие температурные условия работы тепловой сети.

Приведенная выше последовательность действий соответствует наличию в сети только одной начальной точки на источнике тепла. Однако, при необходимости повышения достоверности результатов для отдельных направлений тепловой сети, в ней могут быть специально организованы дополнительные контрольные точки с измерениями расхода и температуры или только расхода и температуры по подающей и (или) обратной линиям. При этом последовательность расчетов остается той же самой, только соответствующие ветви сети начинаются не от источника, а от промежуточных контрольных точек. Измерительная аппаратура промежуточных точек по классу точности и возможностям архивирования параметров должна соответствовать приборам учета. Для измерения расходов воды возможно также применение ультразвуковых расходомеров.

Разработанная методика может найти применение при оснащении приборами учета свыше 30% абонентских вводов и с достаточной степенью точности позволяет определить тепловые потери через изоляцию тепловых сетей без специальной процедуры испытаний, связанной с нарушениями режимов их эксплуатации и отключения потребителей тепла. При ее утверждении в качестве действующей, полученные на основании методики коэффициенты отношения

фактических тепловых потерь к нормативным значениям могли бы быть использованы для определения фактической величины тепловых потерь при составлении нормативных энергетических характеристик по показателю «тепловые потери», для анализа эффективности систем транспорта тепла и разработке тарифов на тепловую энергию.

Следует отметить, что разработанная методика в начальном своем варианте была принята Госэнергонадзором в опытную эксплуатацию и имеется положительный опыт ее практического применения на тепловых сетях крупных систем централизованного теплоснабжения.

Б. Методика оценки тепловых потерь для тепловых сетей в целом при проведении энергетических обследований.

Обязательные энергетические обследования является важным мероприятием, позволяющим провести комплексную оценку состояния систем транспорта тепла (тепловой сети) и разработать обоснованные мероприятия по снижению потерь энергии при ее транспортировке от источника до потребителей.

Одним из основных пунктов программы проведения обследований является составление тепловых балансов тепловых сетей и определение на его основе фактической величины тепловых потерь. Однако, при выполнении этого пункта возникает проблема, связанная с не полным оснащением присоединенных к тепловой сети абонентских вводов приборами учета потребления тепловой энергии. При этом, если потери тепла с сетевой водой для закрытых систем могут быть определены по величине подпитки тепловой сети, то при оценке тепловых потерь через изоляцию не ясно, какая часть отпущенного от источника тепла пошла на потребление, а какая часть была потеряна при транспортировке.

Решение этого вопроса может быть получено путем определения нормативной величины тепловых потерь для соответствующих температурных условий с введением поправочных коэффициентов, определяемых по различным методикам. Однако, на основании практического опыта проведения обследований можно сказать, что зачастую фактические тепловые потери и поправочные коэффициенты для обследуемых сетей предварительно не определяются.

В настоящее время разработаны ряд методик определения фактических тепловых потерь через изоляцию тепловых сетей, начиная с методики, основанной на обработке результатов испытаний сетей на тепловые потери. Все эти методики достаточно трудоемки и требуют значительных затрат сил и времени, что делает их малоприменимыми в рамках проведения энергетических обследований. В частности, для их реализации необходимы либо проведение специальных испытаний, либо сбор и анализ подробной информации о схеме сети и проведение большого количества расчетов.

Для решения поставленной задачи в ВТИ была разработана и прошла практическую апробацию другая, упрощенная, методика определения фактической

величины тепловых потерь в тепловых сетях, основывающаяся на результатах измерений параметров теплоносителя по приборам учета отпуска и потребления тепла с использованием тепловых балансов. Эта методика позволяет оценить фактическую величину тепловых потерь в тепловых сетях в целом, без распределения по участкам с различными типами прокладок трубопроводов, и на основании этого определить фактические режимы потребления тепла совокупностью абонентских вводов, не оборудованных приборами учета. Для реализации этой методики не нужно собирать и обрабатывать информацию о схеме сети. Кроме того, на основании расчетов по разработанной методике возможно определение фактического теплопотребления абонентских вводов без приборов учета и есть возможность анализа показателей режимов работы таких вводов.

Разработанная методика имеет следующее содержание.

Определение фактических тепловых потерь производится за некоторый контрольный интервал, в качестве которого целесообразно принимать достаточно протяженный период времени от недели и более, с сравнительно стабильными значениями температур воздуха и сетевой воды в подающей линии на источнике тепла, как правило для наиболее холодных условий.

Для расчета нормативных тепловых (проектных) потерь при условиях рассматриваемого интервала необходимо знать среднегодовые температуры наружного воздуха и грунта на средней глубине заложения осей теплопроводов тепловой сети, а также соответствующие среднегодовые температуры сетевой воды в подающей и обратной линиях по утвержденному температурному графику тепловой сети. С этой же целью, для тепловой сети должны быть известны данные о протяженности трубопроводов различных диаметров с их разбивкой по срокам эксплуатации в соответствии с нормативными документами по проектированию тепловой изоляции («Нормами технологического проектирования» и различными СНиП). При проведении энергетических обследований указанные данные должны быть получены для расчетов и анализа различных других показателей работы тепловой сети.

Исходными данными для определения фактических тепловых потерь являются осредненные за контрольный интервал данные по отпуску тепла (средней за интервал тепловой нагрузке), расходам и температурам по подающей и обратной линиям на источнике тепла, а также данные по расходу подпитки тепловой сети. Должны быть известны осредненные за выбранный интервал времени данные по нагрузкам, расходам и температурам в подающей и обратной линиях на абонентских вводах с приборами учета потребления тепла. Перед проведением дальнейших расчетов по определенным правилам проводится контроль достоверности измерительной информации

Предварительно, на основании приведенных выше данных по протяженности трубопроводов различных диаметров при известных среднегодовых температурах

наружного воздуха и грунта определяются нормативные среднегодовые тепловые потери, их величина пересчитывается на температурные условия контрольного интервала и производится распределение тепловых потерь между подающим и обратным трубопроводами.

Определение фактических тепловых потерь производится отдельно для подающей и обратной линий

Предварительно определяется средняя температура воды в подающей линии для абонентских вводов с приборами учета. Эта температура рассчитывается как средневзвешенная по соответствующим расходам воды в подающей линии. Определяется среднее снижение температуры в подающей линии для вводов с приборами учета, и умножением величины снижения температуры в подающей линии на суммарный расход воды в этой линии, подаваемой на вводы с приборами учета, определяется фактическая величина тепловых потерь для рассматриваемых вводов.

Рассчитывается нормативная величина тепловых потерь по подающей линии для указанных вводов, которая определяется как доля суммарных нормативных потерь тепла через изоляцию в этой линии, равная величине этих потерь умноженной на отношение суммарного расхода воды на вводы с приборами учета к суммарному расходу воды в тепловой сети (на источнике тепла).

Определяется отношение фактической суммарной величины тепловых потерь для вводов с приборами учета к нормативной их доле и эта величина распространяется на всю подающую линию. При этих условиях фактические тепловые потери в подающей линии сети равны произведению нормативной величины тепловых потерь на полученный выше коэффициент для вводов с приборами учета.

По результатам предыдущих расчетов из теплового баланса определяется средняя температура воды в “конце” подающей линии тепловой сети (температура совокупности абонентов в подающей линии), равная разности температуры воды на источнике тепла и отношения фактических тепловых потерь к расходу воды в подающей линии на источнике тепла.

После определения фактических потерь тепла через изоляцию трубопроводов по подающей линии, из теплового баланса сети определяется величина тепловой нагрузки абонентских вводов без приборов учета потребления тепла. Эта величина определяется как разность тепловой нагрузки источника (с учетом подпитки) и суммы отпуска тепла на абоненты с приборами учета, тепловых потерь в подающей линии, нормативных тепловых потерь в обратной линии и потерь тепла с сетевой водой.

Полученная величина тепловой нагрузки потребителей без приборов учета может использоваться для сопоставления с расчетной при температуре наружного воздуха контрольного интервала величиной этой нагрузкой. По этим данным может быть определена также величина удельного расхода воды на

рассматриваемые вводы, которая, как показывает опыт, значительно превосходит среднюю по сети величину и является основным источником ухудшения режимных показателей всей сети.

При известных расходах воды на такие вводы, полученной величине их тепловой нагрузки и средней температуры совокупности абонентов по подающей линии определяется средняя температура воды после абонентов без приборов учета, которая, как правило, превосходит среднюю для сети величину.

По результатам измерений (по приборам учета абонентов) определяется средняя по соответствующим расходам температура в обратной линии после совокупности этих абонентов и рассчитывается средневзвешенная температура общей совокупности абонентов по обратной линии в целом, которая равна температуре смеси воды после вводов с приборами учета и без.

Произведение разности температур сетевой воды общей совокупности абонентских вводов и у источника тепла на расход воды в обратной линии (расход в подающей линии минус расход подпитки тепловой сети) и представляет собой фактическую величину тепловых потерь в обратной линии.

Далее определяется суммарная величина фактических тепловых потерь по подающей и обратной линиям в сумме и рассчитывается величина коэффициента отношения фактических тепловых потерь сети к нормативному значению для всей сети в целом при температурных условиях проведения измерений. В первом приближении, полученный коэффициент с некоторой незначительной погрешностью может использоваться для пересчета тепловых потерь на другие температурные условия и, в том числе, на среднегодовые условия работы тепловых сетей.

Как следует из вышеизложенного, приведенная методика достаточно просто позволяет оценить величину тепловых потерь в тепловых сетях при проведении энергетических обследований или при анализе фактического состояния тепловой изоляции для других целей, не требуя отключения потребителей и сбора данных по схеме трубопроводов сети. На основании расчетов в соответствии с методикой может быть также проведена оценка основных показателей режимов и фактического теплоснабжения совокупности присоединенных к сети абонентских вводов без приборов учета потребления тепла. Последнее является важным условием при проведении энергетических обследований, поскольку режимы работы таких вводов могут оказывать заметное влияние на общие показатели работы тепловой сети в целом.

По приведенной методике были выполнены расчеты при энергетических обследованиях тепловых сетей от 6-ти котельных г. Москвы. При этом были получены приемлемые результаты по фактическим тепловым потерям. Так получаемая величина отношения фактических потерь к нормативным составляла 1.10-1.35 и при этом хорошо согласовывалась со сроками эксплуатации сетей и структурой применяемых типов прокладок трубопроводов.