

## СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В Хабаровске, как и в некоторых других регионах России, действует «открытая» схема теплоснабжения, когда системы отопления и вентиляции абонентов подключены по зависимой схеме присоединения к тепловым сетям, а система горячего водоснабжения подключена по открытой схеме, т.е. с непосредственным водоразбором из трубопроводов системы теплоснабжения.

О недостатках таких систем теплоснабжения подробно изложено в [1]. Кроме того, необходимо отметить, что практически все тепловые пункты абонентов, присоединенных к системам централизованного теплоснабжения г.Хабаровска, оборудованы элеваторным тепловым вводом.

Главное достоинство элеватора – это то, что он не потребляет энергии на свой привод. Сложилось мнение, что элеватор имеет низкий КПД и это было бы справедливо, если для его работы необходимо было бы расходовать энергию. На самом деле для работы смещения используются разности давлений в трубопроводах системы теплоснабжения. Если бы не элеватор, то пришлось бы дросселировать поток теплоносителя, а дросселирование – это потеря энергии. Поэтому применительно к тепловым вводам, элеватор – это не насос с низким КПД, а устройство для вторичного использования энергии, затраченной на привод циркуляционных насосов ТЭЦ. Также к достоинствам элеватора можно отнести то, что для его обслуживания не требуются высококвалифицированные специалисты, так как элеватор – это простое, надежное и неприхотливое в эксплуатации устройство.

Основной недостаток элеватора – это невозможность пропорционального регулирования тепловой мощности, так как при не изменяющемся диаметре отверстия соплового аппарата он имеет постоянный коэффициент смещения, а процесс регулирования предполагает возможности изменения этой величины. По этой причине на Западе элеватор отвергнут как устройство для тепловых пунктов. Отметим, что данный недостаток можно ликвидировать, если использовать элеватор с регулируемым соплом.

Однако практика использования элеваторов с регулируемым соплом показала их низкую надежность при плохом качестве сетевой воды (наличие механических примесей). Кроме того, такие устройства имеют небольшой диапазон регулирования. Поэтому в г. Хабаровске эти устройства не нашли широкого применения.

Другой недостаток элеватора – это ненадежность его работы при малом располагаемом перепаде давления. В соответствии с [2] для устойчивой работы элеватора необходимо иметь перепад давления от 120 кПа и более. Однако до настоящего времени в г. Хабаровске проектируются элеваторные узлы при перепаде давления 30-50 кПа. При таком перепаде нормальная эксплуатация элеваторных узлов, в принципе, невозможна и поэтому очень часто потребители с такими узлами работают на «сброс», что приводит к сверхнормативным потерям сетевой воды.

Применение элеваторных узлов тормозит внедрение в системах теплоснабжения энергосберегающих мероприятий, таких как комплексное автоматическое регулирование параметров теплоносителя в здании и адекватную этим задачам конструкцию системы отопления, обеспечивающих точность и стабильность комфортных условий и экономичный расход тепла.

Комплексное автоматическое регулирование включает в себя следующие базовые принципы:

- регулирование в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) или автоматизированных узлах управления (АУУ), обеспечивающих в соответствии с отопительным графиком изменение температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления в зависимости от температуры наружного воздуха;
- индивидуальное автоматическое регулирование на каждом отопительном приборе при помощи термостата, обеспечивающего поддержание заданной температуры в помещении.

Все вышеизложенное привело к тому, что, начиная с 2000 г., в г. Хабаровске начался масштабный переход от «открытых» зависимых систем теплоснабжения к «закрытым» независимым системам с автоматизированными тепловыми пунктами. О преимуществах таких систем подробно изложено в [1]. Там же приведены данные по экономической эффективности внедрения таких систем.

Однако переход в Хабаровске к современным системам теплоснабжения с автоматизированными тепловыми пунктами поставил перед проектными и монтажными организациями, энергоснабжающей организацией, потребителями тепла ряд проблем таких как:

1. Отсутствие круглогодичной циркуляции теплоносителя в магистральных тепловых сетях.
2. Устаревший подход к проектированию и монтажу внутренних систем теплоснабжения.
3. Необходимость в техническом обслуживании современных систем теплоснабжения.

Рассмотрим эти проблемы более подробно.

### **Проблема №1 Отсутствие круглогодичной циркуляции в магистральных трубопроводах тепловых сетей.**

В Хабаровске магистральные трубопроводы системы теплоснабжения находятся под циркуляцией только в течение отопительного сезона: примерно с середины сентября до середины мая. В остальное время теплоноситель поступает по одному из трубопроводов: подающему или обратному, причем часть времени он подается по одному, а часть по другому трубопроводу.

Это приводит к большим неудобствам и дополнительным затратам при внедрении энергосберегающих технологий в системах теплоснабжения, в частности, в системах горячего водоснабжения (ГВС). Из-за отсутствия циркуляции в межотопительном сезоне приходится использовать смешанную «открыто-закрытую» систему ГВС: «закрытую» в отопительном сезоне и «открытую» в межотопительном сезоне, что увеличивает капитальные затраты на монтаж и оборудование теплового пункта на 0,5-3%.

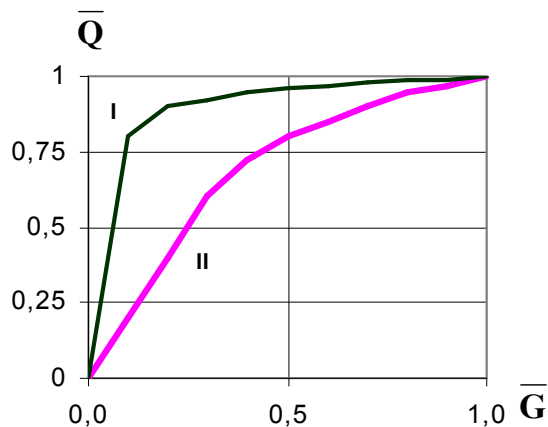
### **Проблема №2. Устаревший подход к проектированию и монтажу внутренних систем теплоснабжения зданий.**

В доперестроечный период развития нашего государства правительством была поставлена задача по экономии металла. В связи с этим началось массовое внедрение однотрубных нерегулируемых систем отопления, что было обусловлено более низкими (по сравнению с двухтрубными) металлозатратами, затратами на монтаж и более высокой теплогидравлической устойчивостью в многоэтажных зданиях.

В настоящее время при вводе новых объектов в городах России, как Москва и Санкт-Петербург, а также на Украине [3, 4] в целях энергосбережения обязательно применение терморегуляторов перед нагревательными приборами, что фактически, за незначительным исключением, предопределяет проектирование двухтрубных систем отопления.

Поэтому широкое распространение однотрубных систем при оснащении каждого отопительного прибора термостатом потеряло смысл. В регулируемых системах отопления при установке термостата перед нагревательным прибором двухтрубная система отопления оказывается высокоэффективной и обладающей повышенной гидравлической устойчивостью. При этом расхождения по металлозатратам находятся в пределах  $\pm 10\%$  [3].

Характер регулирования однотрубных систем близок к двухпозиционному релейному регулированию, обеспечивающему лишь крайние значения мгновенного расхода теплоносителя (кривая I на рис.1). Недостатком релейного регулирования является значительное отклонение регулируемых параметров и перерасход тепловой энергии. В двухтрубных системах процесс регулирования соответствует непрерывной системе регулирования (кривая II на рис.1), которая способна непрерывно изменять мгновенный расход теплоносителя в зависимости от управляющего сигнала, например, от величины отклонения температуры воздуха в помещении от заданной. Это позволяет достаточно точно обеспечивать заданные величины отклонения регулируемых параметров и оптимальный расход тепла. Исследования [3] показывают, что при релейном процессе регулирования, характерном для однотрубных систем отопления, перерасход тепла на 12-15% выше по сравнению с непрерывным процессом регулирования, характерным для двухтрубных систем отопления.



**Рис.1 Регулировочные характеристики радиаторов**

Таким образом, в настоящее время при проектировании систем отопления зданий следует переходить на применение современных энергоэффективных двухтрубных систем отопления с комплексным автоматическим регулированием, как на отопительном приборе, так и в узлах управления этих систем на ИТП или АУУ.

При этом следует отметить, что за рубежом однотрубные системы отопления практически не применяются

Схемы двухтрубных систем могут быть различными, однако наиболее целесообразно применять независимую схему, так как при применении терморегуляторов (термостатов) зависимая схема ненадежна в эксплуатации из-за низкого качества теплоносителя. При незначительных отверстиях в термостатах, измеряемых миллиметрами, они быстро выходят из строя.

В [4] предлагается применять однотрубные системы отопления с терморегуляторами только для зданий не более 3-4 этажей. Там же отмечается нецелесообразность применения в системах отопления с терморегуляторами чугунных нагревательных приборов, так как в процессе эксплуатации из них вымываются формовочная земля, песок, окалина, которые забивают отверстия терморегуляторов.

Применение независимых схем теплоснабжения открывает новые перспективы: использование полимерных или металлополимерных трубопроводов для внутренних систем, современных нагревательных приборов (алюминиевые и стальные нагревательные приборы со встроенными терморегуляторами).

Следует отметить, что двухтрубная система отопления, в отличие от однотрубной, требует обязательной наладки с использованием специального оборудования и высококвалифицированных специалистов.

Необходимо отметить, что даже при проектировании и монтаже автоматизированных тепловых пунктов с погодным регулированием в г. Хабаровске до настоящего времени проектируются и внедряются только однотрубные системы отопления без терморегуляторов перед отопительными приборами. Причем эти системы гидравлически разбалансированы и иногда настолько (например, детский дом по ул. Ленина), что для того, чтобы поддерживать нормальную температуру в здании, концевые стояки работают «на сброс» и это при независимой схеме отопления!

Хочется верить, что недооценка важности балансировки гидравлики систем отопления связана просто с отсутствием необходимых знаний и опыта.

Если Хабаровским проектировщикам и монтажным организациям задать вопрос: «Нужно ли проводить балансировку колес автомобиля?», то последует очевидный ответ: «Несомненно!» Но почему же тогда балансировка системы отопления, вентиляции и ГВС не считается необходимым делом. Ведь неправильные расходы теплоносителя приводят к неправильным температурам воздуха в помещении, плохой работе автоматики, шумам, быстрому выходу из строя насосов, неэкономичной работе всей системы.

Проектировщики полагают, что достаточно провести гидравлический расчет с подбором труб и при необходимости шайб, и проблема будет решена. Но это не так. Во-первых, расчет

имеет приближенный характер, а, во-вторых, при монтаже возникает масса дополнительных неконтролируемых факторов (чаще всего монтажники просто не устанавливают дроссельные шайбы).

Существует мнение [5], что гидравлику систем отопления можно увязать с помощью расчета настроек термостатических клапанов. Это тоже неверно. Например, если по каким-либо причинам через стояк не проходит достаточное количество теплоносителя, то термостатические клапаны будут просто открыты, а температура воздуха в помещении при этом будет низкой. С другой стороны, при перерасходе теплоносителя может возникнуть ситуация, когда открыты форточки и термостатические клапаны. Все вышесказанное абсолютно не умаляет необходимости и важности установки перед отопительными приборами термостатических клапанов, а лишь подчеркивает, что для их хорошей работы необходима балансировка системы.

Под балансировкой системы понимается наладка гидравлики, чтобы каждый элемент системы: радиатор, калорифер, ветвь, плечо, стояк, магистраль – имели проектные расходы. При этом определение и выставление настроек термостатических клапанов является частью процесса наладки.

Как было указано выше, в г. Хабаровске проектируются и монтируются только гидравлически разбалансированные однотрубные системы отопления без термостатов.

Покажем на примерах новых, вводимых в эксплуатацию объектах к чему это приводит.

#### **Пример 1. Детский дом №1 по ул. Ленина.**

Введен в эксплуатацию в конце 2001 г. Система ГВС закрытая, а система отопления однотрубная, без термостатов, подключенная по независимой схеме. Проектировал – Хабаровскгражданпроект, монтаж системы отопления и ГВС – Хабаровское монтажное управление №1. Проектирование и монтаж теплового пункта – специалисты ХЦЭС. Тепловой пункт находится на техническом обслуживании в ХЦЭС.

После запуска системы теплоснабжения выявились следующие недостатки:

1. Система отопления не сбалансирована. В одних помещениях наблюдался перегрев: 25-27<sup>0</sup>С, а в других недогрев: 12-14<sup>0</sup>С. Это связано с несколькими причинами:

- для балансировки системы отопления проектировщики предусмотрели шайбы, а монтажники их не врезали, мотивируя это тем, что «все равно они засорятся через 2-3 недели»;
- отдельные отопительные приборы выполнены без замыкающих участков, их поверхность завышена, что приводит к перегреву отдельных помещений.

Кроме того, для того чтобы обеспечить циркуляцию и нормальную температуру, в недогретых помещениях, концевые стояки работали на «сброс», что приводило к утечкам воды 20-30 т в сутки и это при независимой схеме!!!

2. Система приточной вентиляции не работает, а это недопустимо, так как в здании установлены термостатические окна с низкой воздухопроницаемостью.

По просьбе Заказчика специалисты ХЦЭС установили на стояках балансировочную арматуру и провели балансировку системы отопления. В результате этого температура в помещениях выровнялась и составила 20-22<sup>0</sup>С, подпитка системы сократилась до нуля, а экономия тепловой энергии составила около 30%. Наладка системы вентиляции не проводилась.

#### **Пример 2. Институт повышения квалификации врачей.**

Введен в эксплуатацию в октябре 2002 г. Система ГВС закрытая, система отопления однотрубная без термостатов подключена по независимой схеме.

После запуска системы отопления были выявлены следующие недостатки: система отопления не сбалансирована, арматура для регулировки системы отсутствует (проектом даже не предусмотрены дроссельные шайбы). Температура воздуха в помещениях изменяется от 18 до 25<sup>0</sup>С, причем для того, чтобы довести температуру в угловых помещениях до 18<sup>0</sup>С пришлось увеличить расход тепла в 3 раза по сравнению с требуемым. То есть если теплоснабжение здания уменьшить в три раза, то в большинстве помещений будет температура 18-20<sup>0</sup>С, но при этом в угловых помещениях температура не превысит 12<sup>0</sup>С.

По просьбе Заказчика специалисты ХЦЭС в настоящее время занимаются балансировкой системы отопления.

Эти примеры распространяются на все вновь введенные здания с независимыми схемами отопления в г. Хабаровске: цирк и гостиница цирка (в гостинице открыты форточки (перетоп), а в закулисной части холодно (недотоп), жилые дома по ул. Фабричной, ул. Дзержинского, терапевтический корпус Железнодорожной больницы и т.д.

С проблемой № 2 тесно сплетается проблема № 3.

### **Проблема № 3. Необходимость в техническом обслуживании современных систем теплоснабжения.**

Как показывает наш двухлетний опыт, современные системы теплоснабжения зданий, выполненные с использованием энергосберегающих технологий, в процессе эксплуатации нуждаются в постоянном уходе. Для этого необходимо привлекать высококвалифицированных, специально обученных специалистов, используя специальные технологии и инструменты.

Покажем это на примерах автоматизированных тепловых пунктов внедренных в г. Хабаровске.

#### **Пример 1. Тепловые пункты, не обслуживаемые специализированными организациями.**

В 1998 г. в г. Хабаровске было введено в эксплуатацию здание Хакобанка по улице Ленинградской г. Хабаровска. Система теплоснабжения здания была спроектирована и смонтирована специалистами из Финляндии. Оборудование использовано также финское. Система отопления выполнена по независимой двухтрубной схеме с термостатами, снабжена балансировочной арматурой. Система ГВС закрытая. Обслуживалась система специалистами банка. В первые три года эксплуатации во всех помещениях поддерживалась комфортная температура. Через 3 года пошли жалобы от жильцов отдельных квартир на то, что в квартире «холодно». Жильцы обратились в ХЦЭС с просьбой обследовать систему и помочь наладить «комфортный» режим.

Обследование ХЦЭС показало: система автоматического регулирования не работает (вышел из строя погодный регулятор ECL), теплообменные поверхности теплообменника системы отопления засорились, что привело к уменьшению его теплопроизводительности примерно на 30% и разбалансировке системы отопления.

Аналогичная картина наблюдалась на жилом доме по ул. Дзержинского, 4, где современная система теплоснабжения обслуживалась силами жильцов.

#### **Пример 2. Тепловые пункты, обслуживаемые специализированными организациями.**

На сегодняшний день на обслуживании в Хабаровском центре энергоресурсосбережения находится около 20 автоматизированных тепловых пунктов. Как показал наш опыт эксплуатации, в процессе обслуживания таких узлов возникают следующие проблемы:

- очистка фильтров, установленных перед теплообменниками ГВС и отопления и перед циркуляционными насосами;
- контроль за работой насосов и теплообменного оборудования;
- контроль за работой автоматики и регулирования.

Качество теплоносителя и, даже холодной воды, в г. Хабаровске очень низкое и поэтому постоянно возникает проблема очистки фильтров, которые установлены в первичном контуре теплообменников ГВС и отопления, перед циркуляционными насосами во вторичном контуре теплообменников. Например, при запуске в эксплуатацию в отопительном сезоне 2002/03 г. блока жилых домов по переулку Фабричному, в каждом из которых был смонтирован ИТП, фильтр установленный в первичном контуре теплообменника отопления пришлось промывать 1-2 раза в день в течение первых 10-ти дней после запуска и затем, в последующие две недели, не менее одного раза в 2-3 дня. На здании цирка и гостиницы цирка в отопительном сезоне 2001/02г. пришлось промывать фильтр холодной воды 1-2 раза в неделю.

Казалось бы, что очистка фильтра, установленного в первичном контуре, это рутинная операция, которую может выполнить неквалифицированный специалист. Однако, для очистки (проливки) фильтра необходимо на какое-то время остановить всю систему теплоснабжения, отключить холодную воду, отключить циркуляционный насос в системе ГВС и затем все это снова запустить. Также при отключении системы теплоснабжения для очистки фильтров желательно отключить, а потом перезапустить систему автоматики, чтобы при запуске системы

теплоснабжения не возникало гидроударов. При этом если при отключении первичного контура системы ГВС не отключить вторичный контур по холодной воде, то из-за температурных расширений в теплообменнике ГВС может появиться «течь».

Для очистки фильтров без их остановки специалисты ХЦЭС используют свои собственные технологии: очистка фильтра путем обратной промывки через штатную заглушку, в которую врезан шаровый кран со штуцером; проливка фильтра теплоносителем из подающего трубопровода по байпасной линии (рис.2).

Очистка фильтра 5 происходит следующим образом. Закрываются шаровые краны 1 и 2 и открываются шаровые краны 3 и 4. В штатном режиме краны 3 и 4 закрыты, а 1 и 2 открыты.

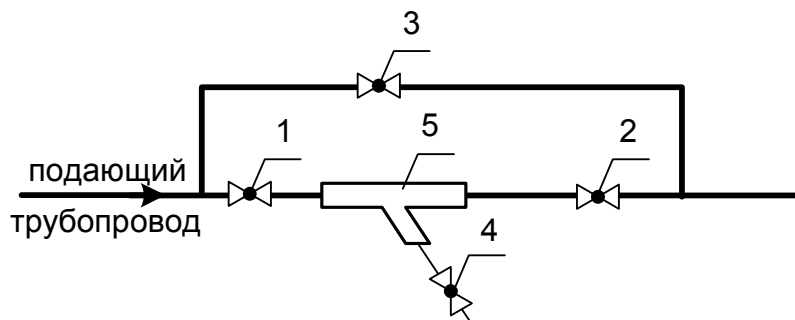


Рис.2 Схема для очистки фильтра теплоносителя из подающего трубопровода через байпасную линию

Такая схема очистки позволяет организовать комбинированную промывку: чередование прямой и обратной промывки, что дает такой же эффект, как и при разборке фильтра и последующей его промывки, но при этом не нужно останавливать систему теплоснабжения.

Вторая проблема, которая возникает в процессе эксплуатации автоматизированных тепловых пунктов – это проблема контроля за работой оборудования: насосов, теплообменников, приборов учета и регулирования.

Например, часто перед запуском после межотопительного периода циркуляционные насосы находятся в «сухом» состоянии, т.е. не заполнены сетевой водой, и поэтому их сальниковые уплотнения засыхают, а иногда даже прикипают к валу насоса. Поэтому перед запуском, чтобы избежать протечек сетевой воды через сальниковые уплотнения, необходимо насос несколько раз плавно прокрутить вручную.

Также в процессе эксплуатации необходимо периодически следить за работой регулирующих клапанов, чтобы они не работали постоянно в режиме «закрыто» или «открыто», регуляторов давления, перепада давления и т.д., кроме того необходимо следить за изменением гидравлического сопротивления и теплопередающей поверхности теплообменников.

Контролировать изменения гидравлического сопротивления и площади теплопередающей поверхности теплообменников можно регистрируя или периодически измеряя температуру теплоносителя в первичном и во вторичном контуре теплообменника и перепад давлений и расход теплоносителя в этих контурах.

Например, в отопительном сезоне 2001/02г. в гостинице цирка через месяц после начала эксплуатации резко упала температура горячей воды. Исследования показали, что в начале эксплуатации расход теплоносителя в первичном контуре системы ГВС составлял 2-3 т/час, а через месяц после начала эксплуатации он составлял не более 1 т/час. Это произошло из-за того что первичный контур теплообменника ГВС оказался забит продуктами сварки (окалиной), что привело к увеличению гидравлического сопротивления и уменьшению площади теплопередающей поверхности. После того, как теплообменник был разобран и промыт, температура горячей воды достигла нормы.

На рис.3 показано состояние пластин теплообменника М6, установленного в цирке и разобранного после года эксплуатации.

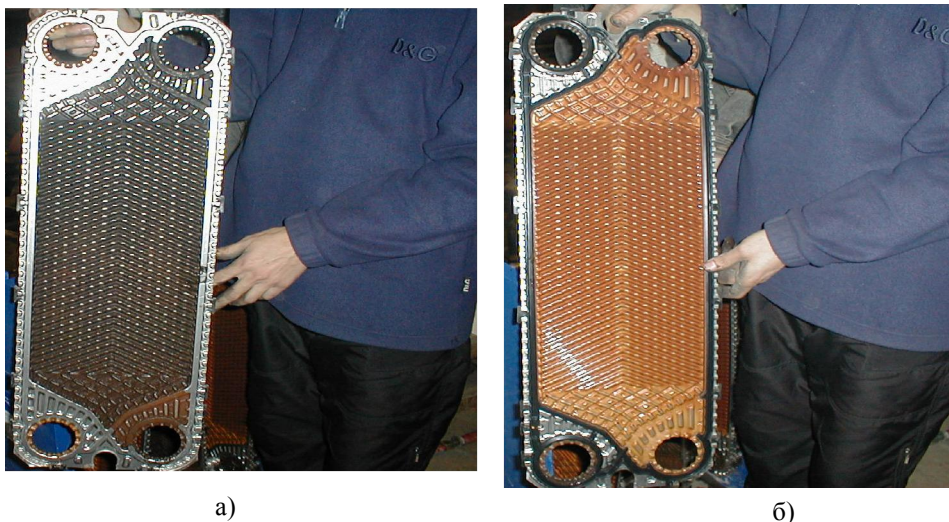


Рис. 3. Пластина теплообменника М6 системы отопления после года эксплуатации – объект цирк.

- а) со стороны наружного контура теплообменника;
- б) со стороны внутреннего контура теплообменника.

Как видно из рис. 3, с внешней стороны пластина загрязнена нефтепродуктами (рис.3а), а с внутренней – продуктами коррозии (рис.3б). Эти загрязнения легко отмываются.

На рис. 4 в увеличенном виде показана та же, что и на рис. 3а пластина теплообменника.

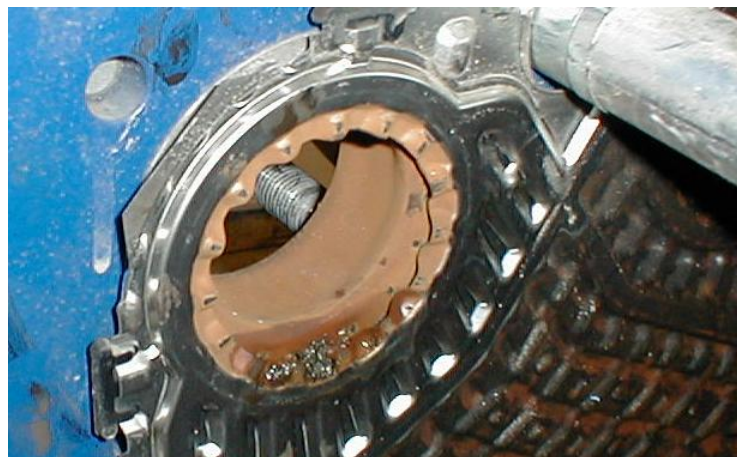


Рис. 4. Пластина теплообменника М6 после года эксплуатации со стороны наружного контура – объект цирк.

На рис.4 четко прослеживаются механические включения, забивающие каналы, что приводит к увеличению гидравлического сопротивления.

Как показал опыт обслуживания современных систем теплоснабжения с автоматизированными тепловыми пунктами, в процессе их эксплуатации необходимо осуществлять постоянный контроль и вносить коррективы в работу систем автоматики и регулирования. В Хабаровске в последние 3-5 лет температурный график 130/70 не соблюдается: даже при температуре ниже минус 30<sup>0</sup>С температура теплоносителя на входе у абонентов не превышает 105<sup>0</sup>С. Поэтому специалисты ХЦЭС, обслуживающие автоматизированные тепловые пункты, на основе статистических наблюдений за режимом теплоснабжения объектов перед началом отопительного сезона для каждого объекта вносят в контроллер свой температурный график, который затем корректируют в течение отопительного сезона.

Проблема обслуживания автоматизированных тепловых пунктов тесно связана с отсутствием достаточного количества высококвалифицированных специалистов, которых целенаправленно не готовят в пределах Дальневосточного региона. В Хабаровском центре энергоресурсосбережения обслуживанием автоматизированных тепловых узлов занимаются специалисты – выпускники кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» Хабаровского государственного технического университета, прошедшие стажировку в ХЦЭС.

Резюмируя вышеизложенное можно сделать следующие выводы:

1. В Хабаровске в последние 2-3 года начался процесс перехода с устаревших «открытых» систем к современным «закрытым» системам теплоснабжения с внедрением энергосберегающих технологий. Однако чтобы ускорить этот процесс и сделать его необратимым, необходимо:

1.1. Переломить психологию Заказчиков, проектировщиков, монтажников и эксплуатационников, которая заключается в следующем: проще и дешевле внедрять устаревшие традиционные схемы теплоснабжения с однотрубными системами отопления и элеваторными узлами, которые не нуждаются в обслуживании и регулировке, чем создавать себе дополнительную боль и финансовые затруднения, переходя к современным системам теплоснабжения с системами автоматики и регулирования. То есть построить объект с минимумом капитальных затрат, затем передать его, например, муниципалитету, который должен будет выискивать средства на эксплуатацию этого объекта. В результате крайним снова окажется потребитель (гражданин), который будет потреблять «ржавую» воду из системы теплоснабжения, мерзнуть зимой от недотопа и страдать от жары в переходный период (октябрь, апрель) при перетопе, осуществляя форточное регулирование, что приводит к простудным заболеваниям из-за сквозняков.

1.2. Создать специализированные организации, которые бы занимались всей цепочкой: от проектирования и монтажа до пуска наладки и обслуживания современных систем теплоснабжения. Для этой цели необходимо проводить целенаправленную работу по подготовке специалистов в области энергосбережения.

2. При проектировании этих систем необходимо тесно увязывать между собой все элементы систем теплоснабжения: отопление, вентиляцию и ГВС, учитывая не только требования СНиП и СП, но и рассматривая их под углом с точки зрения эксплуатационников.

3. В отличие от устаревших, традиционных систем, современные системы нуждаются в обслуживании, которое могут осуществлять только специализированные организации, имеющие специальное оборудование и высококвалифицированных специалистов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Канев С.Н. Концепция реконструкции систем теплоснабжения города Хабаровска на основе энергосберегающих технологий// Сб. «Коммерческий учет энергоносителей» Материалы 15-й международной научно-практической конференции, 23-25 апреля, СПб: Политехника, 2002г.
2. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. струйные аппараты, Изд-во «Энергия», М., 1970г.
3. Грановский В.Л., Прижижацкий С.И., Петров Н.А. Применение двухтрубных систем отопления с комплексным авторегулированием// АВОК, №6, 2001г.
4. Павловский А.Е. О практике применения двухтрубных систем отопления// Инженерные системы. АВОК. Северо-Запад, №3, 2002г.
5. Лебедев Н.И. Балансировка гидравлики систем ОВК// АВОК, №5, 2002г.