

Опыт внедрения систем автоматизации теплоиспользующих установок в г. Минске

1. Схема и особенности теплоснабжения г. Минска

Для того чтобы получить представление о масштабах проведённых в г. Минске мероприятий по внедрению систем автоматического регулирования, приведу некоторые справочные данные о сложившейся в городе схеме теплоснабжения.

В настоящее время население г. Минска составляет **1,8 млн.** человек. По состоянию на сентябрь 2010 г. в жилом фонде г. Минска на обслуживании УП ЖРЭО районов находится **6418** жилых домов различных форм собственности, которые оборудованы **7834** индивидуальными тепловыми пунктами.

На долю жилищно-коммунального сектора приходится 79% потребления тепловой энергии (из них примерно 70% на отопление и 30 % на горячее водоснабжение).

Тепловая энергия поступает от трёх ТЭЦ и 7 районных пиковых водогрейных котельных (РК) суммарной тепловой производительностью 8774,16 Гкал/ч по сетевой воде и 678,57 т/ч по пару. Централизация теплоснабжения города составляет порядка 99%.

На балансе предприятий Минских тепловых сетей находится 3765 км тепловых сетей в однетрубном исчислении (в т. ч. 637,4 км магистральных), а так же 425 ЦТП, из которых 50 шт. являются отопительными с независимой схемой присоединения потребителей.

Начиная с конца 90-х г.г. новые ЦТП в г. Минске не проектируются и не строятся.

В г. Минске принята закрытая схема теплоснабжения. До начала «эры автоматизации» основным типом абонентских присоединений для систем отопления была зависимая схема с элеваторным узлом, оснащённым РР (регулятором расхода прямого действия), а для систем ГВС – 2-ступенчатая смешанная схема с РР и ТРБ-2 (терморегулирующим вентилем).

Протяжённость транзитных сетей от ТЭЦ до РК и от РК до систем потребления достаточно велика, что приводит к значительному транспортному запаздыванию (до 8-12 часов) при центральном качественном регулировании (ЦКР).

2. Предпосылки необходимости автоматизации систем теплоснабжения

Перефразируя известную фразу о предпосылках революции, можно сказать, что потребители уже не могли жить по старому, а энергосистема – просто не могла.

Сложившаяся в прежние годы схема теплоснабжения с графиком центрального качественного регулирования (ЦКР) и элеваторными присоединениями была оправдана низкими ценами на топливно-энергетические ресурсы, простотой, надёжностью и универсальностью схемы, а так же отсутствием или несовершенством приборов автоматического регулирования. Теплоснабжение г. Минска осуществлялось так же по традиционному графику ЦКР 150/70°C.

Дешевизна схемы уравнивалась пропорциональными издержками. Например, получить представление об интегральном качестве работы регуляторов прямого действия типа РР можно через тот факт, что циркуляция от источников в ночное время в летнем (!) режиме снижалась всего на 10-15%, а в зимнем режиме, за счёт отсутствия нагрузки ГВС в ночные часы и перераспределения теплоносителя в системы отопления, рост температуры обратной воды позволял пройти утренний пик ГВС без дополнительного топлива!

Отступление от графика ЦКР в начале 1990 годов явилось отправной точкой, положившей начало цепи событий, приведших к необходимости автоматизации систем теплопотребления.

Обобщая, можно свидетельствовать, что события развивались следующим образом.

Ужесточение режима экономии энергоносителей в период недопоставок газа поставило энергосистему перед необходимостью жить по средствам. Поскольку механизмы энергосбережения на тот момент отсутствовали, то экономия шла не «от потребителя», а «от источника».

Приняли пониженный график ЦКР 120/70°C, ввели срезку графика на 105°C (а фактически на 95-100°C), опустили точку излома графика с 70°C до 61-63°C. Кроме этого вводились дополнительные директивные корректировки графика на понижение, т.е. топили столько, насколько хватало топлива.

Смещение точки излома графика ниже потребностей теплообменных характеристик парка существующих водоподогревателей ГВС привело к массовым перебоям в обеспечении потребителей горячей водой. Эксплуатирующие организации пресекали жалобы на корню, «регулируя» ТРБ с помощью деревянного колышка. Гидравлические переемы подобного рода возникали в таком количестве, что теплоснабжающая организация стала не в состоянии контролировать этот процесс. Циркуляция в сетях росла, располагаемые перепады на вводах снижались.

Снижение графика ЦКР и располагаемых напоров в сети привели к массовым недотопам зданий, что особо остро ощущалось в жилом секторе, где потребитель привык к некоторому комфорту. Глобальное потепление ещё не наступило, тепловые потери зданий не изменились, а потребность в тепле у не готовых к энергетическому кризису потребителей осталась на прежнем уровне. Поскольку людям никто не объяснил, что 13°C в квартире это уже норма, а не отклонение, эксплуатирующие организации стали, что называется, тянуть одеяло на себя.

Начался сначала контролируемый (по жалобам потребителей), а потом и бесконтрольный, лавинообразный переход от качественного к «качественно-количественному регулированию» путём увеличения диаметров сужающих устройств: шайб, сопл элеваторных узлов. Повсеместное стремление решить «локальные» проблемы дефицита тепла за общий счёт привели к тому, что, нарастая лавинообразно, процесс, наконец, стал необратимым.

Располагаемый перепад давлений на абонентских вводах стал «предполагаемым». Тепловые сети потеряли управляемость.

За «развалом» гидравлики сетей последовали следующие очевидные неприятности:

- появление в городе целого ряда зон дефицитного теплоснабжения;
- повсеместное снижение коэффициентов смешения элеваторных узлов с вертикальной разрегулировкой однотрубных систем отопления;
- массовые провалы элеваторных узлов, особенно в пиковые часы;
- «срыв» режимов водоподогревателей ГВС, когда неискушённые потребители все вместе «прогревали воду на слив»;
- обратный теплообмен в водоподогревателях, присоединённых по двухступенчатой смешанной схеме, когда низкая «обратка» из системы отопления догревается в 1-й ступени бойлера.

Таким образом, на «заре энергосбережения» ситуация пришла к такому положению, при котором приходилось думать уже не об энергосбережении, а о спасении самой системы централизованного теплоснабжения в целом...

3. Цели автоматизации систем теплоснабжения

Как было сказано выше, необходимость автоматизации систем теплоснабжения стала очевидной, вынужденной и неизбежной. Так как возврат к высокотемпературному графику ЦКР следовало признать практически невозможным, то выход виделся в переходе на качественно-количественное и количественное регулирование. Очевидно, что решение задачи количественного регулирования на местных системах должны были принять на себя САР.

Рассмотрим, какие же задачи ставились перед программой автоматизации, и каких результатов предполагалось достичь. Ожидалось, что тотальная автоматизация систем теплоснабжения позволит:

- ликвидировать перетопы в периоды температур наружного воздуха выше точки излома температурного графика (≈ 1000 ч/сезон);

- увеличить выработку электрической мощности на тепловом потреблении на ТЭЦ за счёт снижения температуры обратной воды;

- снизить расход электроэнергии на транспорт теплоносителя за счёт ограничения времени работы теплосети с максимальным расходом и общего снижения циркуляции;

- получить инструмент для экономии тепла за счёт оптимизации режимов теплопотребления;

- улучшить гидравлические характеристики тепловых сетей за счёт снижения циркуляции;

- решить проблемы, связанные с пьезометрическими характеристиками сети за счёт установки РПД и насосов смешения (получить относительную независимость режимов систем потребления от входных параметров сети – температуры и располагаемого напора);

- выдерживать график системы отопления при не выдерживании графика ЦКР (качественно-количественное регулирование в диапазоне выдерживания ЦКР и количественное выше точки излома, ниже точки срезки и при отклонениях графика);

- оптимизировать режимы потребления под каждый конкретный объект с учётом погодных условий, конфигурации и ориентации зданий, графика потребления (режимы ночного снижения и выходных дней);

- компенсировать отклонения, вызванные транспортным запаздыванием температурной волны);

- компенсировать недотопы в периоды температур наружного воздуха ниже точки срезки температурного графика;

- решить проблемы, связанные с регулировкой систем отопления (обеспечение постоянства циркуляции);

- стабильно работать на системы отопления с переменным, регулируемым расходом;

- присоединять новые объекты (например, при уплотнении существующей застройки) без увеличения циркуляции в тепловых сетях;

- обеспечить значительную экономию топлива.

Обобщая, можно сказать, что полная автоматизация абонентских установок должна привести к перенесению основной доли регулирования на местные системы. Иначе можно сказать, что «до» автоматизации регулирование было центральным (у источника), а «после» автоматизации – должно стать местным (у потребителя).

4. Требования, предъявляемые к системам автоматического регулирования

В соответствии с целями и задачами программы автоматизации систем теплоснабжения, о которых было сказано выше, теплоснабжающими организациями были выработаны и сформулированы требования, предъявляемые к местным (устанавливаемым у потребителя) системам автоматического регулирования.

Условно их можно разделить на требования к изготовителям, эксплуатирующим, проектным, и монтажным организациям.

Требования к изготовителям.

Система автоматического регулирования (в составе: контроллер, исполнительные механизмы, насос) должна обеспечивать:

- выдерживание заданного графика регулирования при отклонении графика температуры на вводе;
- изменение графика потребления по дням недели и часам суток;
- ограничение расхода в систему по контролю температуры обратной воды;
- ограничение минимального расхода (защита от размораживания);
- многоконтурность управления нагрузками (минимум 2 контура);
- управление насосами отопления, циркуляции и повышения давления по часам суток и дням недели;
- возможность снятия архива данных измеряемых параметров и параметров регулирования;
- доступность для пользователя, не обладающего знаниями в области высшей математики и ядерной физики;
- недоступность для постороннего персонала (защита паролем);
- организация технической поддержки (сопровождения запасными частями).

Требования к эксплуатирующим организациям.

В соответствии с концепцией программы автоматизации, эксплуатирующие организации должны быть ответственны за такие направления, как составление технического задания на проектирование (ТЗ), технический надзор при производстве монтажных работ, организацию эксплуатации САР.

Требования к проектным организациям.

Проектная организация была обязана:

- до начала разработки проектно-сметной документации (ПСД) в обязательном порядке проводить обследование модернизируемых объектов;
- разрабатывать ПСД в строгом соответствии с ТУ и ТЗ на проектирование;
- согласовать ПСД в теплоснабжающей организации.

Проектно-сметная документация должна соответствовать следующим требованиям:

- схемотехнические решения должны приниматься с учётом пьезометрических характеристик сети, существующего связанного оборудования, схемы системы отопления и ГВС, особенностей эксплуатации;
- обеспечивать стабилизацию перепада давлений на регулирующих органах при условии изменения располагаемого напора на вводе в широких пределах (установка РД, РПД);

Так же проектная организация была обязана:

- на узлах регулирования отопления предусматривать обязательное применение схем с насосным смещением с ликвидацией существующих элеваторных узлов и РР;
- предусматривать применение однотипных схемотехнических решений для схожих объектов в пределах одной эксплуатирующей организации;
- предусматривать применение однотипного оборудования с учётом унификации, взаимозаменяемости и ремонтпригодности.

Требования к монтажным организациям.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к систем теплоснабжения, оборудованным системами автоматизации, монтажным организациям вменялось:

- выполнить монтаж в строгом соответствии с ПСД;
- провести индивидуальные испытания и комплексное опробование оборудования;
- выполнить наладку систем автоматизации теплоснабжения;

- передать оборудование на баланс заказчику с подписанием акта приёмки в эксплуатацию систем автоматизации по форме, предусмотренной Приложением 1 к СНиП 3.05.07-85 «Системы автоматизации» (Государственный комитет СССР по делам строительства, Москва 1988)

5. Оценка масштабов проведённых модернизаций.

Итак, за 5 лет (с 2001 по 2005 г.) в г. Минске проведена тотальная автоматизация абонентских установок на объектах ЖКХ, ЦТП теплоснабжающих организаций и прочих объектах различной ведомственной принадлежности.

В тепловых пунктах жилого фонда было установлено 6359 систем автоматического регулирования потребления тепловой энергии, а так же автоматизированы все 425 ЦТП.

Очень важно, что оснащение тепловых пунктов системами автоматического регулирования не ограничивалось простой установкой регулирующего клапана на «существующую трубу», а повсеместно сопровождалось модернизацией связанного оборудования:

- элеваторные узлы смешения заменены узлами регулирования с насосным смешением с применением экономичных бесшумных насосов;
- регуляторы расхода типа РР заменены регуляторами дифференциального давления;
- системы ГВС оснащены современными экономичными бесшумными насосами;
- значительная часть парка кожухотрубных водоподогревателей заменена на пластинчатые теплообменники;
- часть объектов переведена на независимую схему теплоснабжения;
- частично ликвидированы схемы централизованного горячего водоснабжения от ЦТП с заменой их на местные системы с индивидуальными водоподогревателями (переход от 4-трубной схемы на 2-трубную);
- заменено устаревшее оборудование (арматура, грязевики, насосы) и трубопроводы;
- тепловые пункты оснащены стальными входными дверями с замками гаражного типа.

Резюмируя, можно свидетельствовать, что за 5 лет в г. Минске произошли революционные изменения в теплоснабжении, - свершился переход от качественного к качественно-количественному регулированию с перенесением основной доли регулирования на местные системы!

6. Порядок проведения автоматизации систем теплоснабжения в г. Минске и допущенные ошибки.

Поскольку на начальном этапе автоматизации систем теплопотребления отечественный опыт по данной теме отсутствовал, неизбежно допускались как технические, так и организационные ошибки. Накопление опыта шло, так называемым, туристическим методом – методом проб и ошибок. К чести участников процесса следует приписать тот факт, что два раза на одни грабли не наступали: корректировки вносились по ходу дела оперативно.

Ошибки, касающиеся принятия технических решений.

1. Применение схемных решений, при которых существующие элеваторные узлы дополняются регулирующим клапаном на подаче и корректирующим насосом на перемычке, при очевидной их дешевизне, следует признать непригодными для полноценного регулирования. Во-первых, схема с насосом и гидроэлеватором не является полноценным узлом регулирования, а всего лишь корректирующей схемой для устранения перетопов при положительных температурах наружного воздуха, когда и включается корректирующий насос. Большую часть отопительного периода насосное оборудование не используется. Элеваторный узел, будучи ограничен по входу регулирующим клапаном, будет иметь переменный коэффициент смешения, что приведёт к разрегулировке системы отопления. Далее, теоретически предполагается, что при отключении корректирующего насоса обратный клапан на перемычке поднимется и начнётся нормальная работа элеваторного узла... Но в силу малого перепада на перемычке и большого сопротивления клапана на открытие (загрязнение, вес, пружина) он остаётся закрытым и в систему поступает прямая вода с повышенной температурой. Устранение недотопов при температурах наружного воздуха ниже срезки графика при данной схеме - так же невозможно.

2. Сохранение существующих регуляторов расхода типа РР перед узлами регулирования недопустимо, так как РР не работают на системы с переменным расходом и не могут заменить регуляторы дифференциального давления (РПД). Применение РПД и РД (подпора) в схемах обязательно. Стабилизацию перепада давления на узлах регулирования следует считать таким же приоритетом, как стабильность напряжения электросети.

3. Существующие грязевики абонентских вводов следует признать непригодными для защиты регулирующих клапанов, насосов с мокрым ротором и пластинчатых теплообменников. Требуется установка фильтров тонкой механической очистки (с сеткой).

4. Даже при поэтапной модернизации следует сразу устанавливать двухканальный контроллер с перспективой на подключение второго контура регулирования.

5. Наличие циркуляционного насоса в схеме ГВС следует считать обязательным, а в тупиковых схемах ГВС организовывать циркуляцию через местное кольцо насосами малой производительности.

6. Управляющий датчик температуры ГВС должен быть погружного типа (без гильзы) и устанавливаться непосредственно на выходе из водоподогревателя, а датчик температуры наружного воздуха должен устанавливаться в месте, защищённом от солнечной инсоляции и тепловыделений здания.

7. Для нерегулируемых систем отопления (особенно однотрубных) приоритетом следует считать сохранение постоянства циркуляции в системе, иначе, как следствие, имеем вертикальную и горизонтальную разрегулировку системы отопления с реализацией принципа регулирования по наиболее холодному помещению и необоснованным подъёмом температурного фона всего здания.

8. Следует максимально стремиться к сужению номенклатуры применяемых приборов регулирования до 1-2 видов в пределах одной эксплуатирующей организации (выгоды очевидны: проще подготовить обслуживающий персонал, меньше резерв на складе, взаимозаменяемость и т. д.).

9. Недопустимо применение шаровых клапанов и прочей запорной арматуры в качестве регулирующей. Желательно применять только седельные регулирующие клапаны.

10. Во избежание таких явлений как кавитация, шумы, колебания параметров, отклонения режимов от заданных, ускоренный износ электрических исполнительных механизмов (ЭИМ) следует запретить применение регулирующих клапанов, не соответствующих по Ду и Kvs расчетным данным, а также ЭИМ не соответствующих по усилию и скорости хода штока.

11. Подбор насосов при различных схемных решениях следует производить в строгом соответствии с нормативной документацией.

Ошибки, касающиеся организационных мероприятий

1. Отсутствие комплексного подхода к связанной системе источник – сети – нагрузка.

На источниках не проводилась опережающая модернизация сетевых насосных групп, и они оказались не готовы к тотальной автоматизации потребительских систем.

Неготовность источников к глубокой автоматизации стала очевидной сразу после оснащения системами автоматического регулирования ЦТП в пределах зоны одной пиковой районной котельной (ПВК Орловская).

Так весной, при работе от пиковой районной котельной, интегральная реакция САР, установленных в зоне данного источника, привела к столь значительному росту давления в подающей магистрали, что во избежание повреждения сетей и абонентских присоединений пришлось как временное решение, уstraивать перепускные перемычки на ЦТП путём принудительного открытия регулирующих клапанов.

Кстати, это убедительно всем доказало, что САР действительно эффективно работают!

Вывод: глубокой автоматизации в зоне источника тепла должна предшествовать или сопутствовать модернизация сетевых насосных групп.

2. Большой территориальный разброс в ходе автоматизации, вследствие чего эффект от установленных систем не дифференцируется (иначе, теплоноситель перераспределяется в смежные неавтоматизированные зоны и результат неочевиден).

Вывод: при выполнении программы автоматизации следует стремиться к локализации зон:

- концентрации работ в зоне одного источника, одной тепломагистрали, одного квартала и т. п.;

- последовательности установки САР в направлении от источника к хвосту тепловой магистрали (начиная с участков ТМ с большим располагаемым напором).

3. При разработке ПСД должен применяться комплексный подход к модернизации ТП. Такие направления, установка САР, замена водоподогревателей и т. п., должны быть охвачены одним проектом. При этом монтаж САР, и другие виды работ могут выполняться последовательно (даже в разные годы), но по одному (!) увязанному проекту.

4. Проведение индивидуальных испытаний и комплексного опробования оборудования с составлением отчёта о наладке является обязательным видом работ, выполняемых подрядной организацией перед сдачей объекта в эксплуатацию.

Отсутствие данных о наладке, закреплённых документально, неизбежно приведет к необходимости проведения повторной трудоёмкой работы по наладке при сбоях в системе, некомпетентном вмешательстве и в других подобных случаях.

Заинтересованность заказчика в выполнении наладки заключается, прежде всего, в следующем:

- принять на баланс эффективную, работоспособную систему, адаптированную под фактическую нагрузку;

- получить информацию о таких параметрах, как установленные коэффициенты регуляторов и уставки срабатывания (включения-отключения) насосов, настройки РПД и т. п.;

- получить возможность хранения в архиве документально закреплённых в отчёте о наладке данных.

7. Итоги внедрения систем автоматизации теплоиспользующих установок в г. Минске

По прошествии 5 лет с момента окончания основных работ по автоматизации систем теплоснабжения в городе, можно резюмировать, что в результате удалось добиться следующих положительных моментов:

- снизить циркуляцию в тепловых сетях, за счёт чего улучшить гидравлические характеристики сетей и снизить расход электроэнергии на транспорт теплоносителя;

- практически ликвидировать зоны дефицитного теплоснабжения;

- решить проблемы, связанные с пьезометрическими характеристиками сети за счёт установки РПД и насосов смешения (получить относительную независимость режимов систем потребления от входных параметров сети – температуры и располагаемых напоров);

- ликвидировать перетопы в периоды температур наружного воздуха выше точки излома температурного графика (≈ 1000 ч/сезон);

- получить инструмент для экономии тепла за счёт оптимизации режимов теплоснабжения;

- выдерживать графики систем отопления при отклонении графика ЦКР;

- компенсировать отклонения, вызванные транспортным запаздыванием температурной волны;

- оптимизировать режимы потребления под каждый конкретный объект с учётом погодных условий, конфигурации и ориентации зданий, графика потребления (режимы ночного снижения и выходных дней);

- компенсировать недотопы в периоды температур наружного воздуха ниже точки срезки температурного графика;

- обеспечить относительно качественное горячее водоснабжение при температурах подающего теплоносителя 58-62°C (большая часть года);

- решить проблемы, связанные с разрегулировкой систем отопления (обеспечение постоянства циркуляции);

- стабильно работать на системы отопления с переменным, регулируемым расходом;

- получить экономию топлива 20-25%;

- присоединять новые объекты (например, при уплотнении существующей застройки) без увеличения циркуляции в тепловых сетях.

По последнему пункту можно привести такой пример, что в период массовой автоматизации с 2001 по 2006 годы, присоединение новых абонентов (жилищное строительство) проходило без увеличения средней циркуляции в тепловых сетях.

Кроме того, налажено производство отечественной элементной базы (контроллеры, регулирующие клапаны, ЭИМ, регуляторы давления), подготовлен обслуживающий персонал высокой квалификации и организована бесперебойная эксплуатация принципиально нового оборудования.

К некоторым издержкам автоматизации можно отнести появление дополнительной электрической нагрузки в ТП потребителей за счёт потребления электроэнергии насосами на узлах регулирования отопления, а так же прием на работу дополнительного эксплуатирующего персонала достаточно высокой квалификации (около 250 чел.).

И последнее. Наше предприятие активно участвовало в этом проекте поставляя САР собственного производства. Исходя из личного опыта, приобретенного за последние годы в процессе сотрудничества с энергоснабжающими организациями Республики Беларусь, России и Украины, нами выпущено пособие, в котором обобщены требования действующей нормативно-технической документации к проектированию систем теплоснабжения, оснащенных САР. Цель данного пособия – помочь проектировщику, монтажнику и конечному пользователю понять основные принципы работы различных схем и найти оптимальную для каждого конкретного случая.

Генеральный директор
СП «ТЕРМО-К» ООО
Е. М. Наумчик