

Штейнмиллер О.А. - генеральный директор ЗАО "Промэнерго", к.т.н,  
Горячев П.Н. - заместитель начальника проектного отдела ЗАО "Промэнерго",  
Агеев Д.М. - начальник отдела исследований и разработок ЗАО "Промэнерго"

### Энергоаудит насосного оборудования в жилом доме повышенной этажности

Конечной целью энергоаудита является сокращение энергопотребления за счет исключения нерациональных потерь потребляемых ресурсов. Существенная составляющая ресурсного потребления жилых зданий определяется системами отопления, холодного и горячего водоснабжения. В значительной части домов повышенной этажности для обеспечения функционирования указанных систем применяется насосное оборудование. В данной работе на примере одного из домов г. Санкт-Петербурга, расположенного по адресу ул. Софийская, 26, показаны распространенные проблемы нерационального потребления ресурсов в таких домах, способы их определения с помощью локального энергоаудита и возможные пути решения, позволяющие получить действенные результаты в сжатые сроки.

#### 1. Характеристика жилого дома

Жилой дом по ул. Софийской, 26, корп. 1 построен по типовому проекту 1 528-КП-80э и введен в эксплуатацию в 1971 году. Дом 14-этажный. Высота между этажами – 2,8 м, общая высота 42м. Количество квартир – 97, по состоянию на март 2011 года проживает 197 человек. Дом подключен к централизованной системе отопления, холодного и горячего водоснабжения. Дом имеет 2 ввода холодной воды Ду=100 мм каждый, которые запитаны от внутриквартальной сети d=200 мм, ввод №2 отключен. В соответствии с проектом в подвале дома установлены насосные станции системы холодного водоснабжения (СХВ), горячего водоснабжения (СГВ) и системы отопления (СО). В состав каждой насосной станции входит два насоса и шкаф управления и контроля. Система холодного водоснабжения (СХВ) – однозонная. Внутренняя водопроводная и тепловая сеть имеют 7 стояков СХВ, 7 стояков СГВ, 30 стояков СО. СГВ и СО запитаны от наружной теплосети. СГВ имеет самостоятельный узел учета воды, расчет за холодную воду ведется по отдельным счетчикам, за отопление - по счетчику потребленной тепловой энергии. Управление домом осуществляет ТСЖ № 592.

В течение 2004-2005 г.г. в большинстве квартир были установлены квартирные счетчики на холодной и горячей воде. Кроме того, по сравнению с началом эксплуатации дома изменилось количество жильцов. Оба эти обстоятельства привели к сокращению водопотребления примерно в 2 раза. Согласно имеющимся данным (рис. 1) суточный расход холодной воды по данным измерений в апреле 2003 года составил 51,48 м<sup>3</sup>/сут. По отчетным данным за 2009 год среднесуточный за год расход холодной воды составил 23,11 м<sup>3</sup>/сут.

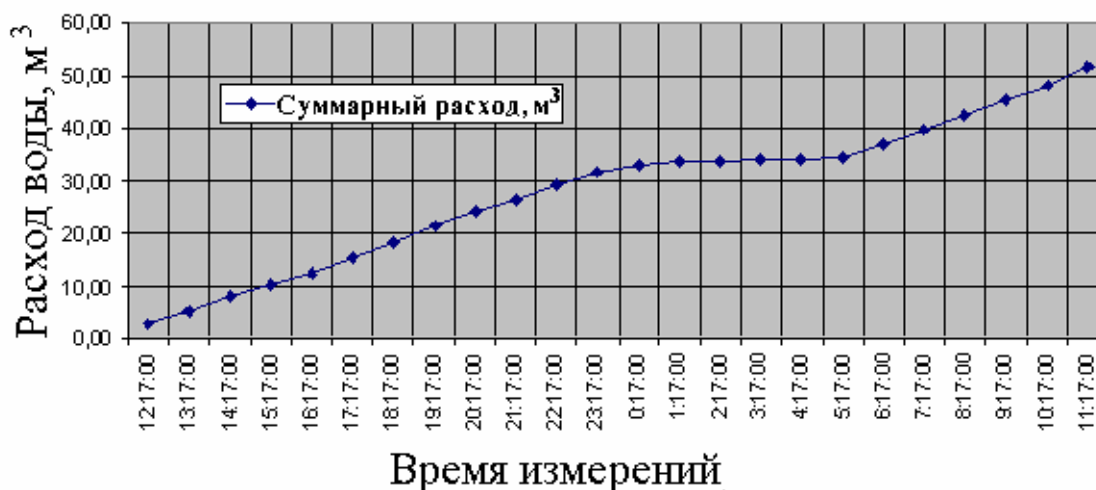


Рис. 1. Интегральный график водопотребления в СХВ дома за 1 сутки (29.04.2003г. - 30.04.2003г.)

За длительный срок эксплуатации (40 лет) были проведены текущие ремонты систем водоснабжения, включавшие в себя замену насосов СХВ и СГВ на ту же марку, а так же замену стояков СХВ (2005 г.). К началу 2010 года всё насосное оборудование достигло крайней степени изношенности и требовало замены. Помимо морального и физического износа циркуляционные насосы СО производили шум, величина которого превышает допустимые нормы. Уровень звукового давления был особенно ощутим в ночные часы, что создавало дискомфортные условия для жильцов дома. В связи с этим в мае 2010 года по решению правления ТСЖ была намечена замена насосов с целью перехода на современное и эффективное оборудование меньшей мощности, с более высоким КПД, низким уровнем шума, автоматизированное и оснащенное частотным регулированием, предоставляющее возможность обеспечения постоянного давления воды независимо от величины входного давления и возможность уравнивания напоров в СХВ и СГВ. Важным фактором является быстрая окупаемость затрат в условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию.

Первоначально предполагалось провести замену насосов СХВ и СГВ. Однако в процессе разработки проекта и проведенного обследования было установлено, что насосы СГВ практически не работают, так как напор на прямом трубопроводе теплосети, от которого запитана СГВ, составляет 70-76 м.в.ст. при требуемом значении около 60 м.в.ст. В связи с этим было принято решение о целесообразности замены работающих круглосуточно в течение отопительного сезона циркуляционных насосов СО вместо насосов СГВ.

## 2. Измерение фактических расходов и напоров (давления) в СХВ и СГВ

Насосные станции расположены в подвале дома на отметке – 1,80 и состоят из трёх групп насосов, установленных на общем фундаменте:

- насосы системы холодного водоснабжения;
- насосы системы горячего водоснабжения;
- насосы системы отопления.

Каждая группа насосов состоит из 2-х агрегатов со следующими характеристиками:

Характеристика насосного оборудования дома, установленного на СХВ, СГВ, СО. Таблица 1

Группа насосов	Марка насоса	Производительность насоса Q, м <sup>3</sup> /ч	Напор насоса Н, м.в.ст.	Мощность электродвигателя насоса N, кВт	Количество насосов, шт.
СХВ	К 8-18	8	18	1,5	2
СГВ	К 8-18	8	18	1,5	2
СО	К 8-18	8	18	1,5	2

В связи с изменением расчетных расходов воды в доме по причинам, указанным выше, требовалось провести измерения фактических расходов и напоров воды прежде, чем осуществлять подбор насосов. Измерения проводились мобильным измерительным комплексом (МИК), разработанным для диагностики действующих повысительных систем и запатентованным ЗАО "ПромЭнерго" в рамках полезной модели "Система контроля подачи воды" [2].

Измерения расхода и напора в СГВ проводились в течение суток 27.05.2010 г. – 28.05.2010 г., измерения расхода и напора в СХВ проводились также в течение суток 09.06.2010 г. – 10.06.2010 г. Измерения показали следующие результаты:

### СГВ:

1. Расход горячей воды в течение суток ( $Q_{сут}$ ) составил 22,5 м<sup>3</sup>/сут.
2. Максимальный расход горячей воды в пересчете на часовую подачу ( $q_{ч}^{max}$ ) был отмечен в 20 час. 36 мин. 27.05.10 г. на уровне 3,4 м<sup>3</sup>/ч.
3. Среднечасовой расход горячей воды ( $q_{ср-ч}$ ) составил 0,94 м<sup>3</sup>/ч согласно формуле
 
$$q_{ср-ч} = Q_{сут} / 24 . \quad (1)$$
4. Коэффициент часовой неравномерности СГВ ( $K_{ч}$ ) равен 3,6. Расчетная формула:
 
$$K_{ч} = q_{ч}^{max} / q_{ср-ч} . \quad (2)$$

5. Давление на вводе в дом горячей воды зафиксировано на уровнях: в дневные часы – около 7 бар (70 м.в.ст.), в ночные часы – 7,6 бар (76 м.в.ст.). Результаты замеров расхода и давления на вводе в СГВ дома представлены на рис. 2

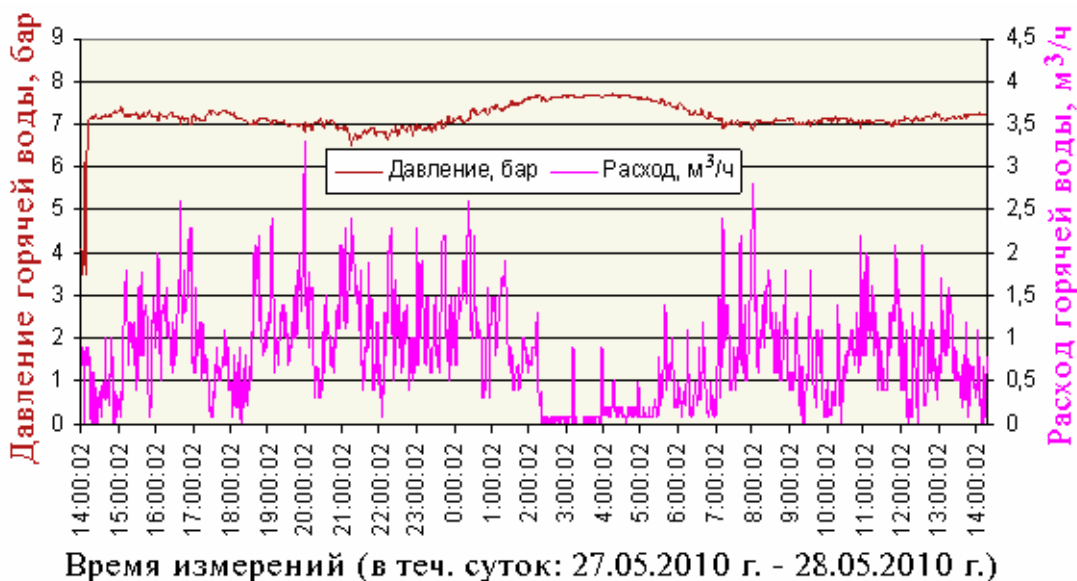


Рис. 2. Натурные замеры с помощью МИК расхода и давления горячей воды на вводе в СГВ дома

Годовой расход горячей воды в СГВ дома (с декабря 2008 г. по ноябрь 2009 г.) составил **15 698,09 м³**, а оплата этого объема горячей воды – **841 872,78 руб.** Структура расхода горячей воды и ее оплаты по данным Правления ТСЖ № 592 представлены в таблице 2.

Фактические расходы горячей воды в СГВ дома в 2009 году и платежи за нее. *Таблица 2*

Месяц	Расход, м³/мес	Среднесуточный расход, м³/сут	Среднечасовой расход, м³/ч	Тариф, руб./м³	Сумма платежа, руб.
Январь	2 630,22	84,85	3,54	47,74	125 566,67
Февраль	2 239,33	79,98	3,33	55,86	125 089,23
Март	1 894,60	61,12	2,55	55,86	105 832,49
Апрель	1 841,90	61,40	2,56	55,86	102 888,28
Май	697,44	22,50	0,94	55,86	38 959,09
Июнь	347,15	11,57	0,48	55,86	19 392,01
Июль	251,28	8,11	0,34	55,86	14 036,73
Август	489,89	15,80	0,66	55,86	27 365,26
Сентябрь	429,06	14,30	0,60	55,86	23 967,48
Октябрь	1 413,26	45,59	1,90	55,86	78 944,67
Ноябрь	1 781,07	59,37	2,47	55,86	99 490,50
Декабрь 2008	1 682,87	54,29	2,26	47,74	80 340,37
<b>Среднее за год</b>	<b>1 308,17</b>	<b>43,01</b>	<b>1,79</b>	<b>54,51</b>	<b>70 156,07</b>

### СХВ

1. Расход холодной воды в течение суток ( $Q_{сут}^{хол}$ ) составил 4,32 м³/сут.
2. Максимальный расход холодной воды в пересчете на часовую подачу ( $q_i^{max, хол}$ ) был отмечен в 18 час. 57 мин. 09.06.10 г. и в 00 час. 16 мин. 10.06.10 г. на уровне 0,8 м³/ч.
3. Среднечасовой расход холодной воды ( $q_{ср-ч}^{хол}$ ) по формуле (1) составил 0,18 м³/ч.
4. Коэффициент часовой неравномерности в СХВ ( $K_i^{хол}$ ) согласно (2) равен 4,4.
5. Давление на вводе в дом холодной воды зафиксировано на уровнях: в дневные часы – около 5 бар (50 м.в.ст.), в ночные часы – 4,6 бар (46 м вод. ст.). Результаты замеров расхода и давления на вводе в СХВ дома представлены на рис. 3

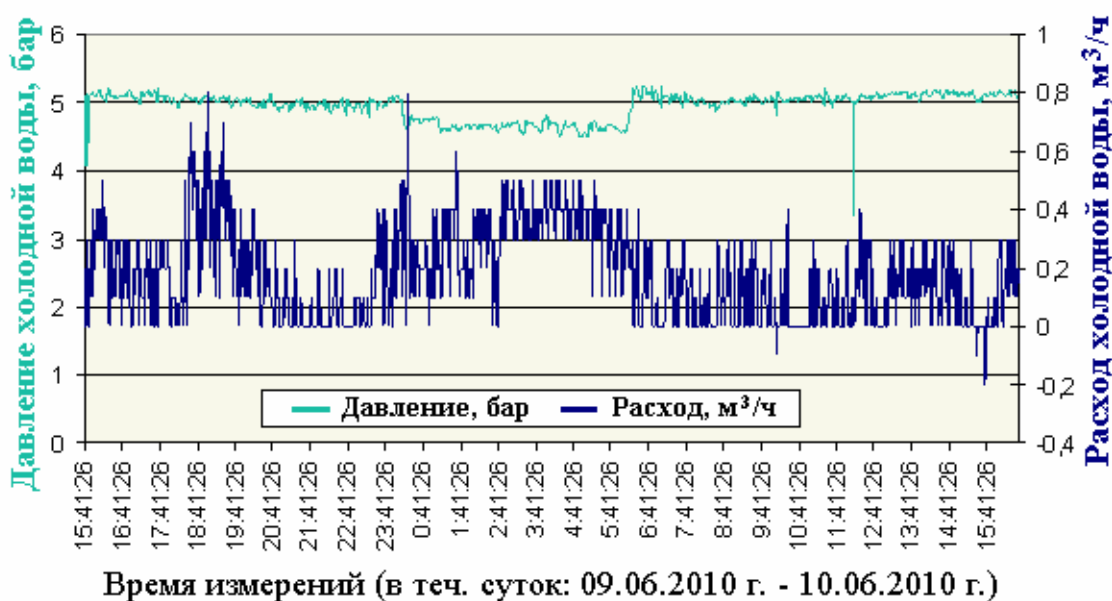


Рис. 3. Натурные замеры с помощью МИК расхода и давления холодной воды на вводе в дом

Годовой расход холодной воды на дом (за тот же период, что и горячей) составил **8 435,54 м<sup>3</sup>**, а оплата этого объема горячей воды – **108 067,12 руб.** Структура расхода холодной воды и ее оплаты по данным Правления ТСЖ № 592 представлены в таблице 3.

По итогам года соотношение расходов холодной и горячей воды сведено в таблицу 4.

Фактические расходы холодной воды в СХВ дома в 2009 году и платежи за нее. *Таблица 3*

Месяц	Расход, м <sup>3</sup> /мес	Среднесуточный расход, м <sup>3</sup> /сут	Среднечасовой расход, м <sup>3</sup> /ч	Тариф, руб./м <sup>3</sup>	Сумма платежа, руб.
Январь	679,46	21,92	0,91	11,14	7 569,18
Февраль	990,54	35,38	1,47	13,15	13 025,60
Март	674,00	21,74	0,91	13,15	8 863,10
Апрель	785,00	26,17	1,09	13,15	10 322,75
Май	783,56	25,28	1,05	13,15	10 303,81
Июнь	537,44	17,91	0,75	13,15	7 067,34
Июль	486,00	15,68	0,65	13,15	6 390,90
Август	516,00	16,65	0,69	13,15	6 785,40
Сентябрь	672,00	22,40	0,93	13,15	8 836,80
Октябрь	729,00	23,52	0,98	13,15	9 586,35
Ноябрь	839,00	27,97	1,17	13,15	11 032,85
Декабрь 2008	743,54	23,99	1,00	11,14	8 283,04
<b>Среднее за год</b>	<b>702,96</b>	<b>23,22</b>	<b>0,97</b>	<b>12,82</b>	<b>9 005,59</b>

Фактические соотношение расходов холодной и горячей воды в доме в 2009 году. *Таблица 4*

Система водоснабжения	Среднесуточный расход, м <sup>3</sup> /сут	Среднечасовой расход, м <sup>3</sup> /ч
СХВ	23,11	0,96
СГВ	43,01	1,79
Всего:	66,12	2,75

### 3. Анализ полученных результатов

1. Обратило на себя внимание несоответствие соотношения расходов холодной и горячей воды. Согласно п. 2.1 (примечание 5) СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения" расход горячей воды в системах централизованного водоснабжения составляет 40 % от общего расхода воды (холодной и горячей), то есть расход горячей воды в 1,5 раза меньше, чем холодной. В нашем случае расход горячей воды в 2 раза больше холодной.

2. Было отмечено, что насосы холодного и горячего водоснабжения в период проведения измерений не работали.

3. Напор холодной воды (при неработающих насосах) составил по результатам измерений, как видно выше, в дневные часы около 50 м.в.ст., в ночные часы – 46 м.в.ст. В то же время выходное давление на Фрунзенской насосной станции, от которой запитан дом, составляет 48 м.в.ст. в дневные часы и 42 м.в.ст. – в ночные часы (см. рис. 4.1). Потери напора в городской сети (на участке Фрунзенская НС – Софийская, 26-1) составляют около 6 м.в.ст. днем и 4 м.в.ст. ночью. Поэтому напор холодной воды на вводе не должен быть более 42-38 м.в.ст. Это подтверждает и показание ЭКМ в насосной станции дома, зафиксировавшего давление 42 м.в.ст. в дневные часы при отключенной системе горячего водоснабжения (см. рис. 4.2).

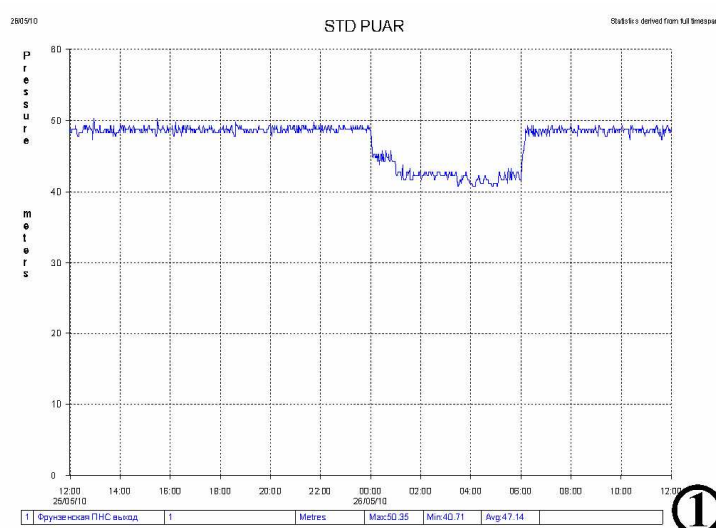


Рис. 4. Напор (давление) во внешней системе холодного водоснабжения: 1) выходное давление на Фрунзенской ПНС; 2) показание манометра на вводе (при отключенной системе горячего водоснабжения дома)

На основании анализа полученных результатов были сделаны следующие выводы:

1. Повышенное давление в СХВ дома объясняется постоянной гидравлической связью с СГВ. Причиной этого могут быть ошибки монтажа сантехнических приборов, а также наличие "перемычек" между двумя системами, запорная арматура на которых может быть неисправна. Следствие этого – постоянный подпор из СГВ в трубопроводы холодной воды, а также такой уровень давления в СХВ, который исключает включение в работу насосов СХВ.

2. Так как входной напор в СГВ (70 м.в.ст.) значительно превышает входной напор в СХВ (40-44 м.в.ст.), в домовой системе водоснабжения происходит передавливание горячей воды в трубопроводы СХВ. Этим объясняются подача из крана холодной воды теплой (и даже горячей) воды, что приводит к дискомфорту жильцов дома.

3. В результате "передавливания" в СХВ горячей воды имеется значительно большее её потребление по сравнению с холодной, что следует признать весьма нерациональным. Это также приводит к значительным дополнительным расходам жильцов дома на оплату услуг водоснабжения по причине значительной разницы тарифов на холодную и горячую воду.

*Примечание. Оценка дополнительных расходов на оплату горячей воды (взамен холодной) на примере ТСЖ № 592 дала результат на уровне 200 000 руб. за 2009 год. При этом даже не учитывался вероятный перерасход горячей воды из-за утреннего сброса первыми потребителями.*

Для подтверждения выводов и уточнения фактических расходов было принято решение о повторных измерениях в СХВ во время отключения горячего водоснабжения. Измерения были проведены 02.07.2010 г. – 06.07.2010 г. (для более точного результата охвачено 4 дня – с пятницы по вторник, включая выходные дни). Результаты измерений представлены на рис. 5.

Повторные измерения показали, что максимальный расход холодной воды ( $q_{max}^{ХОЛ}$ ) составил 1,8 м<sup>3</sup>/ч (в пересчете на часовую подачу) и был зафиксирован в 10 час. 21 мин.



06.07.2010 г., а средний за четверо суток расход воды ( $Q_{\text{ср-сут}}^{\text{ХОЛ}}$ ) составил 7,38 м<sup>3</sup>/сут. Насосы холодного водоснабжения не работали (входное давление равно выходному). При неработающей СГВ максимальный расход холодной воды вырос в 2 с лишним раза (1,8 м<sup>3</sup>/ч против 0,8 м<sup>3</sup>/ч), а суточный в 1,7 раза (7,38 м<sup>3</sup>/сут. против 4,32 м<sup>3</sup>/сут), что подтверждает вывод об имевшемся передавливании горячей воды и поэтому увеличенным ее расходом. Измерения проводились летом, когда многие жители находятся на отдыхе. Расходы по замерам также нельзя принять за расчетные, но из замеров явно иное соотношение расходов холодной и горячей воде.

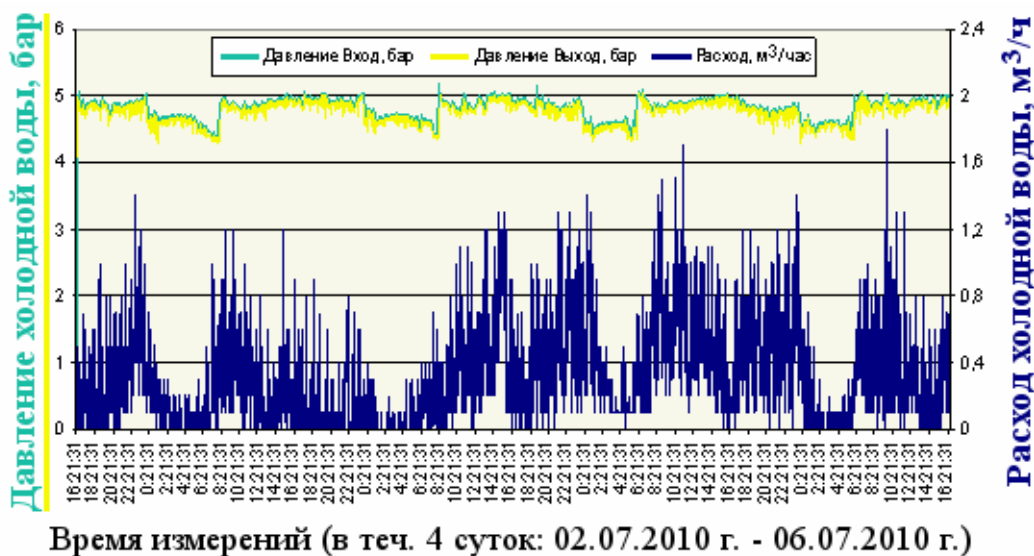


Рис. 5. Натурные замеры с помощью МИК расхода и давления холодной воды на вводе в дом и после насосной группы СХВ (в период отключения горячей водоснабжения)

#### 4. Мероприятия по модернизации насосного оборудования

Для подбора насосов с учетом изменившихся условий по сравнению с условиями типового проекта 1 528-КП-80э был произведен расчет в соответствии со СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения". Расчет производился на основании фактических данных по числу проживающих в доме (179 чел.) и норме водопотребления 0,25 м<sup>3</sup>/сут., рекомендованной ГУП "Водоканал СПб", с учетом результатов измерений расходов в 2010 году. Расчет дал следующие результаты:

Результаты расчета расходов холодной и горячей воды в доме – для подбора насосов. Таблица 5

Система водоснабжения	Максимальный суточный расход, м <sup>3</sup> /сут	Среднесуточный расход воды, м <sup>3</sup> /сут	Расчетный часовой расход, м <sup>3</sup> /ч
СХВ	32,23	26,85	4,88
СГВ	21,48	17,19	3,22

#### Насосное оборудование для СХВ.

Необходимый напор  $H_{\text{необх}}$  для подачи воды к санитарному прибору (душевой сетке) верхнего этажа определялся по известной формуле:

$$H_{\text{необх}} = H_z + h_{\text{сети}} + h_{\text{св}} + h_{\text{нас}} + h_{\text{уз.}}, \quad (3)$$

где  $H_z$  – высота подъема воды от водомерного узла до санитарного прибора на 14 этаже;  $h_{\text{сети}}$  – потери напора в сети дома (по данным проекта);  $h_{\text{св}}$  – свободный напор у санитарного прибора на 14 этаже;  $h_{\text{нас}}$  – потери напора в насосной станции;  $h_{\text{уз.}}$  – потери напора в водомерном узле.

Рассчитанный по (3) напор составил 59 м.в.ст., при этом  $h_{\text{св}}$  был принят 10 м.в.ст. (что больше рекомендованного СНиП 2.04.01-85\*). Необходимый напор насосов  $H_{\text{необх}}^{\text{нас}}$  в часы максимального разбора (утро и вечер) составил 17 м.в.ст. (=59–42), в часы минимального разбора (ночь) 21 м.в.ст. (=59–38). Таким образом, насосы СХВ должны обеспечивать параметры:

- день – напор  $H_{\text{необх}}^{\text{нас}}$  17 м.в.ст., подача  $Q_{\text{необх}}^{\text{нас}}$  4,88 м<sup>3</sup>/ч;
- день – напор  $H_{\text{необх}}^{\text{нас}}$  21 м.в.ст., подача  $Q_{\text{необх}}^{\text{нас}}$  1,00 м<sup>3</sup>/ч.

Для снижения первоначальных затрат из рассмотрения часто исключаются решения с числом рабочих насосов более одного. [4] В данном случае заказчик также настаивал на схеме "1 – рабочий, 1 – резервный", когда весь диапазон подачи обеспечивается одним насосом.

На основании полученных параметров к установке была рекомендована 2-насосная малогабаритная автоматическая насосная станция МАНС (Промэнерго) на базе насосов CR 5-4 (Грундфос), из расчета "1 насос – основной, 1 насос – резервный", оснащенная частотным регулированием привода насосов. Однако, заказчик принял к установке один насос CRE 5-4 со встроенным преобразователем частоты, датчиком давления и мембранным баком. Насос настроен на поддержание выходного давления 59 м.в.ст. при допустимых изменениях давления в городской сети. В случае проведения профилактических или ремонтных работ, приводящих к временному отключению насоса, вода будет подаваться через байпас в обход насоса.

Характеристики CRE 5-4: номинал подачи – 5 м<sup>3</sup>/ч, диапазон напора 24 – 10 м.в.ст. при диапазоне подачи 2,5 – 8,5 м<sup>3</sup>/ч, КПД насоса – 55,9 %, мощность электродвигателя – 0,55 кВт, частота вращения – 2900 об./мин, общий КПД – 39,6 %, уровень звукового давления – 53 дБА.

#### Насосное оборудование для СО.

Циркуляционные насосы системы отопления подбирались на расчетные параметры штатных насосов, так как расход и напор зависят только от отапливаемой площади дома и не связан с количеством проживающих в доме. К установке приняты циркуляционные насосы NB 32-125.1/121 (Грундфос). Характеристики NB 32-125.1/121: номинал подачи – 8 м<sup>3</sup>/ч, напор 18 м.в.ст., КПД насоса – 45,3 %, номинальная мощность электродвигателя – 1,5 кВт, потребляемая мощность – 1,0 кВт, общий КПД – 37 %. В настоящее время производительность этих насосов в зависимости от температуры теплоносителя регулируется вручную. Заказчику рекомендовано оснастить эту группу насосов автоматическим управлением (на базе частотного регулирования) в зависимости от температуры теплоносителя и наружного воздуха.

#### 5. Контрольные замеры после замены насосного оборудования

Контрольные замеры расходов и напоров в СХВ и СГВ по завершении 1 этапа технической модернизации были проведены в период с 01.03.2011 г. по 03.03.2011 г. (диаграмма измерений в течении 2 суток измерений представлена на рис. 6).

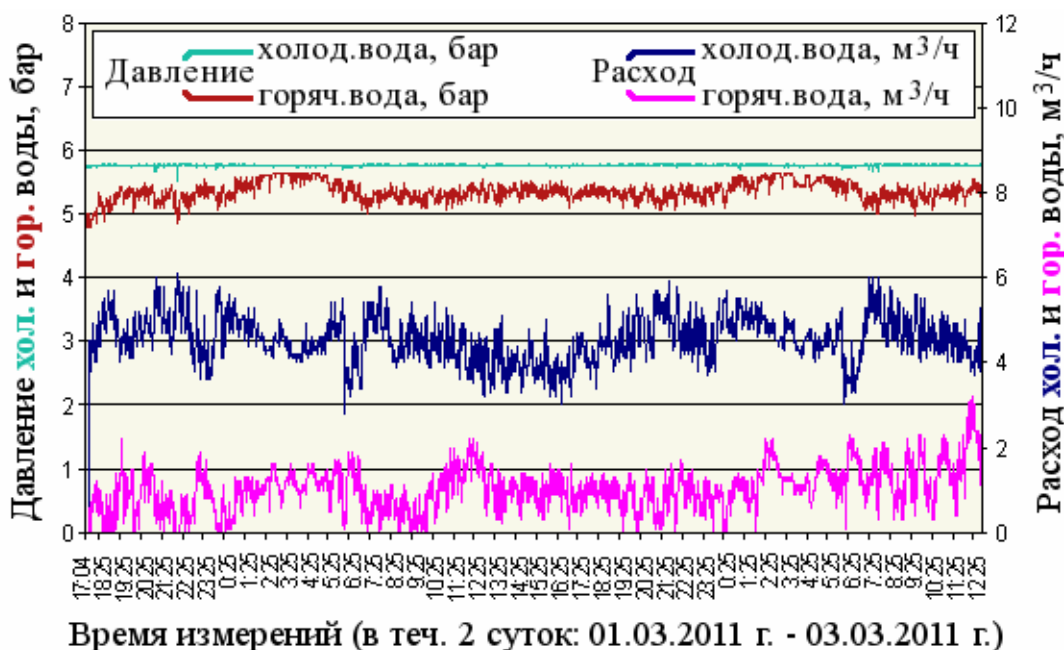


Рис. 6. Натурные замеры с помощью МИК расхода и давления холодной и горячей воды после установки насоса CRE 5-4 на вводе в СХВ и регулятора давления "после себя" на вводе в СГВ. Это завершающее обследование позволило отметить следующие результаты:

1. Соотношение расходов холодной и горячей воды приведено к норме, то есть расход горячей воды стал меньше расхода холодной воды (в начальном положении имело место обратное).

2. Давление в СХВ стабилизировалось за счет автоматического управления напором холодной воды на выходе насоса CRE 5-4 с помощью регулирования частоты вращения рабочих колес (насос оснащен преобразователем частоты тока).

3. Давление в СГВ изменяется в течении суток от 5 до 5,6 бар. Этот факт требует дополнительного изучения, поскольку регулятор давления "после себя", установленный на вводе СГВ, должен более четко стабилизировать давление в этих условиях эксплуатации.

### **Выводы**

В домах повышенной этажности с централизованной системой холодного и горячего водоснабжения и со встроенными насосными станциями давление в теплосети, от которой запитана СГВ, как правило, значительно выше необходимого давления в системах холодного и горячего водоснабжения. Применяемые в период строительства домов регуляторы давления рычажного типа повсеместно находятся в нерабочем состоянии. Вследствие этого давление в СГВ выше, чем в СХВ, что приводит к значительному перерасходу горячей воды.

Кроме того, за долгие годы эксплуатации домов изменилось количество проживающих и нормы водопотребления (как правило, в стороны их уменьшения). Установка квартирных счетчиков воды также способствует более экономному расходованию воды (ниже нормы).

Поэтому весьма целесообразным является модернизация внутридомовых насосных станций, в результате которой качество услуг водоснабжения в доме должно возрасти (стабилизация напоров) и могут быть существенно снижены эксплуатационные затраты. Однако проведение такой модернизации следует проводить только после энергоаудита соответствующих систем (СХВ, СГВ, СО), включая имеющееся насосное оборудование.

Уравнивание напоров в СХВ и СГВ с помощью насосного оборудования с частотным регулированием и регуляторов давления – эффективный метод разрешения этой распространенной проблемы, который рекомендуется к применению после того, как будут выполнены:

1. Определение расчетных расходов холодной и горячей воды по количеству фактически проживающих в доме, согласно установленной норме водопотребления.

2. Измерения расходно-напорных параметров СХВ и СГВ для определения значений и соотношений расходов и напоров холодной и горячей воды.

После замены и наладки насосного и сопутствующего оборудования обязательно следует провести контрольные замеры давления и расходов в обеих системах водоснабжения.

### *Список литературы:*

1. Штейнмиллер О. А. Проблемы в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения зданий. Установки повышения давления / О. А. Штейнмиллер // Инженерные системы АВОК Северо-Запад. — СПб., 2004. — № 2 (14). — С. 26–28.

2. Патент на полезную модель № 81817, МПК G05B 15/00. Система контроля подачи воды / А. Н. Ким, О. А. Штейнмиллер. ; опубл. 2008, Бюлл. № 9.

3. Ким А. Н. Мобильный измерительный комплекс (МИК) и его использование для оценки работы насосных систем / А. Н. Ким, О. А. Штейнмиллер, А. С. Миронов // Доклады 66-й научной конференции. — СПб. : СПбГАСУ, 2009. — Ч. 2. — С. 66–70.

4. Штейнмиллер О. А. Оптимизация насосных станций систем водоснабжения на уровне районных, квартальных и внутридомовых сетей : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. А. Штейнмиллер. — СПб. : ГАСУ, 2010. — 22 с.