

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-34—76. Горячее водоснабжение. М., 1976.
2. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. (Под ред. И. Г. Старовойта.) Ч. 1. Отопление, водопровод, канализация. М., Стройиздат, 1975.
3. СНиП II-34—73. Тепловые сети. М., Стройиздат, 1974.
4. Левин Б. И., Шубин Е. П. Теплообменные аппараты систем теплоснабжения. М., «Энергия», 1965.
5. Репин Н. Н., Шопенский Л. А. Санитарно-технические устройства и газоснабжение зданий. М., Стройиздат, 1975.
6. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. М., «Энергия», 1975.

УДК 697.431.1

ВЛИЯНИЕ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ВОДРАЗБОРА НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ТЕПЛОБМЕННИКОВ

Ю. Л. ЛИПОВКА

Новосибирский инженерно-строительный институт имени В. В. Куйбышева

Изменение соотношений отборов из подающей и обратной труб, а также неравномерность графика горячего водопотребления могут существенно влиять на режимы работы абонентского ввода с последовательным включением калориферов вентиляции и системы отопления [1]. Определим взаимодействие всех этих систем в наиболее общем случае, когда часть потока сетевой воды пропускается параллельно калориферным установкам [2].

Из условия равенства располагаемого напора величине потерь напора на рассматриваемом вводе можно написать:

$$\Delta H = (G_0 + \beta G_r)^2 S' + G_{пр}^2 S_{пр} + G_0^2 S_0 + G_{пос}^2 S_{пос} + [G_0 - (1 - \beta) G_r]^2 S'', \quad (1)$$

где G_0 , G_r , $G_{пр}$, $G_{пос}$ — расходы сетевой воды на отопление, горячее водоснабжение, предвключенную и послевключенную калориферные установки;

S' , S'' и S_0 — характеристики гидравлических сопротивлений подающей, обратной труб абонентского ввода и элеваторного узла;

$S_{пр}$, $S_{пос}$ — характеристики гидравлических сопротивлений предвключенной и послевключенной калориферных установок.

Аналогично методу [3] преобразуем (1) в уравнение с безразмерными величинами. Для этого разделим (1) на величину располагаемого напора при отсутствии водоразбора $\Delta H_p = G_{ор}^2 S_v$, где S_v — приведенная характеристика гидравлического сопротивления ввода, и выразим на основании законов гидравлики расходы $G_{пр}$ и $G_{пос}$ через G_0 и соответствующие характеристики гидравлических сопротивлений.

$$\Delta \bar{H} = (\bar{G}_0 + \beta \bar{G}_r)^2 \bar{S}' + \bar{G}_0^2 \frac{\bar{S}_{np} \cdot \bar{S}'_{nc}}{(\sqrt{\bar{S}'_{nc}} \pm \sqrt{\bar{S}_{np}})^2} + \bar{G}_0^2 \cdot \bar{S}_0^2 + \\ + \bar{G}_0^2 \frac{\bar{S}_{noc} \cdot \bar{S}''_{nc}}{(\sqrt{\bar{S}''_{nc}} \pm \sqrt{\bar{S}_{noc}})^2} + [\bar{G}_0 - (1 - \beta) \bar{G}_r]^2 \bar{S}'', \quad (2)$$

где $\bar{S}'_{nc}, \bar{S}''_{nc}$ — относительные характеристики гидравлических сопротивлений дроссельных диафрагм, установленных параллельно предвключенной и послевключенной установке.

Решая уравнение (2), определим:

$$\bar{G}_0 = \frac{\beta \bar{G}_r \bar{S}' - (1 - \beta) \bar{G}_r \bar{S}''}{F(S)} + \\ + \sqrt{\frac{[\beta \bar{G}_r \bar{S}' - (1 - \beta) \bar{G}_r \bar{S}']^2 - \bar{G}_r^2 [\beta^2 \bar{S}' + (1 - \beta)^2 \bar{S}'' - \Delta \bar{H}]}{F^2(S)}}, \quad (3)$$

здесь

$$F(S) = \bar{S}' + \bar{S}_0 + \bar{S}'' + \frac{\bar{S}_{np} \cdot \bar{S}'_{nc}}{(\sqrt{\bar{S}'_{nc}} \pm \sqrt{\bar{S}_{np}})^2} + \frac{\bar{S}_{noc} \cdot \bar{S}''_{nc}}{(\sqrt{\bar{S}''_{nc}} \pm \sqrt{\bar{S}_{noc}})^2}. \quad (4)$$

Для более простого варианта, когда весь поток воды пропускается через предвключенную и послевключенную калориферные установки, получаем формулу, определяющую степень изменения расхода теплоносителя на отопление при водоразборе по сравнению с расчетным значением, полностью совпадающую с формулой [3, с. 20].

Между отдельными элементами абонентского теплофикационного ввода с последовательным включением теплообменников имеется жесткая гидравлическая связь. При известном расходе сетевой воды на отопление и постоянном располагаемом напоре расходы воды через калориферные установки при водоразборе будут однозначно определяться относительными характеристиками гидравлических сопротивлений параллельных ветвей:

$$\bar{G}_{np} = \bar{G}_0 \sqrt{\bar{S}'_{nc}} / (\sqrt{\bar{S}'_{nc}} \pm \sqrt{\bar{S}_{np}}), \quad (5)$$

$$\bar{G}_{noc} = \bar{G}_0 \sqrt{\bar{S}''_{nc}} / (\sqrt{\bar{S}''_{nc}} \pm \sqrt{\bar{S}_{noc}}). \quad (6)$$

Однако в открытых тепловых сетях расход воды не остается постоянным, а следовательно, напор сетевого насоса H_c также не может быть неизменным.

Располагаемый напор на любом абонентском вводе можно записать следующим образом:

$$\Delta H = H_c - H_n - H_{об}. \quad (7)$$

Подставив в (7) значения потерь напора от станции до абонента в подающей H_n и обратной $H_{об}$ магистралях и разделив полученное уравнение на величину расчетного напора на коллекторах станции H_c^p , получим:

$$\Delta \bar{H} = \{\bar{S}_2 [\sum \bar{G}_0 - (1 - \beta) \sum \bar{G}_r + \bar{G}_{под}]^2 - \bar{S}_n (\sum \bar{G}_0 + \beta \sum \bar{G}_r)^2 - \\ - \bar{S}_{об} [\sum \bar{G}_0 - (1 - \beta) \sum \bar{G}_r]^2\} / \Delta \bar{H}_p, \quad (8)$$

где $\Delta \bar{H}_p = \Delta H_p / H_c^p$.

Выведем зависимости, показывающие влияние непосредственного разбора воды из тепловой сети и степени предвключения на теплоподачу в систему отопления, т. е. по известной гидравлической разрегулировке определим тепловую.

Количество тепла на отопление при любом режиме подачи определяется по формуле

$$Q_0 = \varepsilon_0 W_0 (\tau_{01} - t_n), \quad (9)$$

где τ_{01} — температура сетевой воды на входе в систему отопления;
 W_0 — эквивалент расхода сетевой воды на отопление.

Расчетный расход тепла на отопление при температуре t_n :

$$Q_{op} = W'_0 (\tau'_1 - \tau'_2) \frac{t_{вп} - t_n}{t_{вп} - t_{но}}. \quad (10)$$

Входящая в выражение (9) величина τ_{01} является функцией степени предвключения $\alpha_{np} = Q'_{np}/Q'_0$ и водоразбора $\bar{W}_{np} = \bar{G}_{np}$.

Для нахождения τ_{01} запишем тождество:

$$\frac{Q_{np}}{Q'_{np}} = \frac{K_{np} \Delta t}{K'_{np} \Delta t'} = \frac{W_{np}}{W'_{np}} \cdot \frac{\tau_1 - \tau_{01}}{\tau'_1 - \tau'_{01}}. \quad (11)$$

Относительный коэффициент теплопередачи

$$K_{np}/K'_{np} = [W_{в}^{np}/(W_{в}^{np})']^n / (W_{np}/W'_{np})^m. \quad (12)$$

При неизменном эквиваленте расхода воздуха через предвключенную установку $W_{в}^{np} = (W_{в}^{np})'$ $K_{np}/K'_{np} = (W_{np}/W'_{np})^m$ и выражение (11) примет вид

$$\left(\frac{W_{np}}{W'_{np}}\right)^m \cdot \frac{(\tau_1 + \tau_{01}) - (t_{np} + t_n)}{(\tau'_1 + \tau'_{01}) - (t'_{np} + t_{но})} = \frac{W_{np}}{W'_{np}} \cdot \frac{\tau_1 - \tau_{01}}{\tau'_1 - \tau'_{01}}, \quad (11a)$$

где W_{np} , W'_{np} — эквиваленты расхода сетевой воды через предвключенную калориферную установку соответственно при любой t_n и при расчетной зимней $t_{но}$.

В случае пропуска всего расхода воды через предвключенную установку $W'_{np} = W'_0$. Кроме того, при отсутствии местного количественного регулирования отопительной нагрузки $W'_0 = W'_{op}$, и следовательно, можно записать $W_{np}/W'_{np} = \bar{W}_{np} = \bar{G}_{np}$. Тогда учитывая, что температура приточного воздуха t_{np} является функцией α_{np} и \bar{W}_{np}

$$t_{np} = t_n + \bar{W}_{np} \frac{\tau_1 - \tau_{01}}{\alpha_{np} \delta \tau'} (t'_{np} - t_{но}), \quad (13)$$

из выражения (11a) находим

$$\tau_{01} = \frac{\bar{W}_{np} [(2\tau'_1 - \alpha_{np} \delta \tau') - (t'_{np} + t_{но})] \tau_1 - (\tau_1 - 2t_n) \bar{W}_{np}^m \alpha_{np} \delta \tau' + \bar{W}_{np}^{1+m} \cdot \tau_1}{\bar{W}_{np} [(2\tau'_1 - \alpha_{np} \delta \tau') - (t'_{np} + t_{но})] + \bar{W}_{np}^m \alpha_{np} \delta \tau' + \bar{W}_{np}^{1+m}}. \quad (14)$$

В итоге, тепловую разрегулировку системы отопления в условиях непосредственного водоразбора из тепловой сети и последовательного включения калориферов вентиляции с системой отопления можно выразить формулой

$$x = \frac{\left\{ \bar{W}_{np} [(2\tau'_1 - \alpha_{np} \delta\tau') - (t'_{np} + t_{но})] \tau_1 - (\tau_1 - 2t_n) \bar{W}_{np}^m \cdot \alpha_{np} \cdot \delta\tau' + \bar{W}_{np}^{1+m} \cdot \tau_1 - t_n \right\} \bar{W}_0}{\bar{W}_{np} [(2\tau'_1 - \alpha_{np} \delta\tau') - (t'_{np} + t_{но})] + \bar{W}_{np}^m \cdot \alpha_{np} \cdot \delta\tau' + \bar{W}_{np}^{1+m}} \cdot \left[\delta\tau' - \bar{Q}_0 + \frac{(t_{вp} - t_n) \bar{W}_0}{1 + u + \frac{\Delta t'}{\delta\tau'} \cdot \frac{\bar{W}_0}{\bar{Q}_0^{0,2}}} \right] \quad (15)$$

Зависимость относительного расхода тепла на отопление от водоразбора, доли отбора из подающей трубы и степени предвключения $x = f_1(\bar{G}_r; \beta; \alpha_{np})$ построена по формулам (3), (15) и приведена на рис. 1. При расчете принято: $\bar{S}' = \bar{S}'' = 0,3$; $\Delta H = 1$; $\tau_1 = 150^\circ\text{C}$; $\delta\tau' = 80^\circ\text{C}$; $t_n = t_{но} = -39^\circ\text{C}$; $t'_{np} = t_{вp} = 18^\circ\text{C}$; $\bar{W}_{np} = \bar{W}_0$.

Из графиков (рис. 1) видно, что увеличение водоразбора из подающей линии уменьшает, а из обратной увеличивает расход тепла на отопление. При этом относительная нагрузка на предвключенную калориферную установку в незначительной степени влияет на пределы разрегулировки. Увеличение водоразбора из обратной линии от 0 до 1 при допустимых соотношениях максимальных часовых расходов тепла на калориферную установку и систему отопления α_{np} для зданий с «легкими» и «массивными» ограждающими конструкциями, принятыми из работы [4] $\alpha_{np_1} = 0,2$ и $\alpha_{np_2} = 0,45$ вызывает соответственное увеличение на 6,7 и 7,5%.

На рис. 2 показана зависимость относительного расхода тепла на отопление от относительной тепловой нагрузки $\bar{Q}_0 = (t_{вp} - t_n)/(t_{вp} - t_{но})$, величины водоразбора \bar{G}_r и степени предвключения α_{np} . График

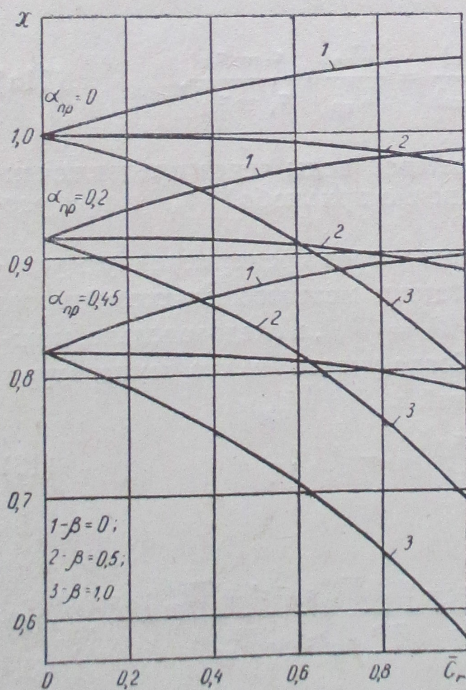


Рис. 1. Зависимость относительного расхода тепла на отопление от величины водоразбора, доли отбора из подающей линии и степени предвключения

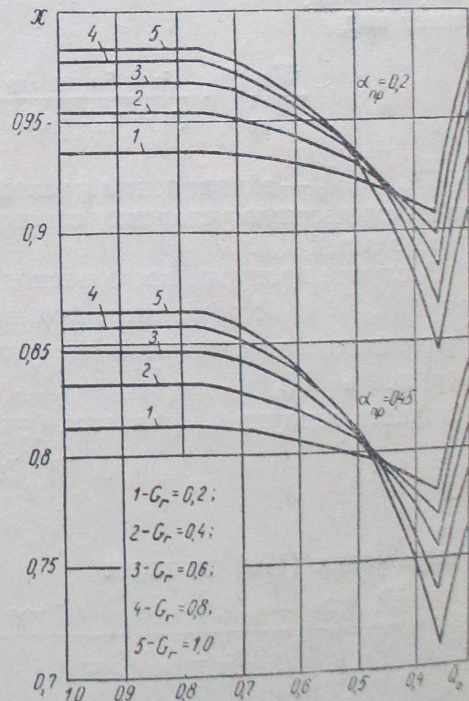


Рис. 2. Зависимость относительного расхода тепла на отопление от относительной тепловой нагрузки, величины водоразбора и степени предвключения

можно разделить на три диапазона. В первом диапазоне, соответствующем наиболее низким наружным температурам $\bar{Q}_0 = 0,754 \div 1,0$, расход тепла на отопление при определенных величинах \bar{G}_r и $\alpha_{пр}$ есть величина постоянная. Это объясняется соответствием температуры в подающей линии графику качественного регулирования отопительной нагрузки и постоянством расхода воды на отопление при данной t_n . Во втором диапазоне $\bar{Q}_0 = 0,354 \div 0,754$ от температуры «точки излома» до наружной температуры, при которой $\tau_2 = t_r = 60^\circ\text{C}$, расход тепла на отопление уменьшается. Это связано с увеличением β от 0 до 0,647 и соответственным сокращением расхода теплоносителя. В третьем диапазоне $\bar{Q}_0 = 0 \div 0,354$ в зоне высоких наружных температур, в связи с постоянством $\tau_1 = 70^\circ\text{C}$ расход тепла на отопление, несмотря на водоразбор из подающей линии, увеличивается.

Для нахождения относительного расхода тепла на предвключенную калориферную установку разделим действительное количество тепла $Q_{пр} = W_{пр}(\tau_1 - \tau_{01})$ на расчетное при температуре t_n $Q_{пр}^p = W_{пр}^p(\tau_1^p - \tau_{01}^p)$ и подставив значения температурных перепадов из (14), получим:

$$\bar{Q}_{пр} = \frac{\bar{W}_{пр}^{1+m} (\tau_1 - t_n) [(2\tau_1' + 1) - (t_{пр}' + t_{но})]}{(\tau_1^p - t_n) \{ \bar{W}_{пр} [(2\tau_1' - \alpha_{пр} \cdot \delta\tau') - (t_{пр}' + t_{но})] + \bar{W}_{пр}^m \cdot \alpha_{пр} \cdot \delta\tau' + \bar{W}_{пр}^{1+m} \}}. \quad (16)$$

Аналогичный вид имеет формула, определяющая взаимосвязь тепловой и гидравлической разрегулировки послевключенной калориферной установки при водоразборе.

Как показано выше, на работу систем отопления, подключаемых к тепловой сети последовательно с калориферными установками, существенно влияет как водоразбор, так и предвключенный теплообменник. Нормальный отопительный график не обеспечивает при такой схеме требуемого количества тепла на отопление. Поэтому можно изменить график температур в подающей линии тепловой сети с тем, чтобы компенсировать влияние непосредственного водоразбора и температурный перепад в предвключенных калориферных установках.

Требуемую корректировку можно определить по формуле (15), из которой находится $\tau_1^{\text{кор}}$ при необходимости сохранять относительный расход тепла на отопление $x=1$ при гидравлической разрегулировке:

$$\tau_1^{\text{кор}} = \frac{\{ \bar{W}_{пр} [(2\tau_1' - \alpha_{пр}^{\delta} \delta\tau') - (t_{пр}' + t_{но})] + \bar{W}_{пр}^m \alpha_{пр}^{\delta} \delta\tau' + \bar{W}_{пр}^{1+m} \} (\delta\tau' \bar{Q}_0 / \varepsilon_0 \bar{W}_0 + t_{вр}) - 2 \bar{W}_{пр}^m \alpha_{пр}^{\delta} \delta\tau' t_n}{\bar{W}_{пр} [(2\tau_1' - \alpha_{пр}^{\delta} \delta\tau') - (t_{пр}' + t_{но})] - \bar{W}_{пр}^m \alpha_{пр}^{\delta} \delta\tau' + \bar{W}_{пр}^{1+m}}. \quad (17)$$

Расчет $\tau_1^{\text{кор}}$ производится в следующей последовательности: определяется доля расхода воды из подающего трубопровода во всем диапазоне наружных температур отопительного сезона β ; гидравлическая разрегулировка \bar{W}_0 системы отопления при водоразборе по формуле (3); балансовая степень предвключения

$$\alpha_{пр}^{\delta} = \alpha_{пр}^{\text{ср}} \bar{z}_в, \quad (18)$$

где $\bar{z}_в$ — относительное число часов работы вентиляции в сутки $\bar{z}_в = z_в / 24$; определяется значение безразмерной характеристики отопительной системы ε_0 и по формуле (17) — искомое значение $\tau_1^{\text{кор}}$.

Возможен другой вариант компенсации влияния работы установок горячего водоснабжения и приточной вентиляции, который заключается в местном регулировании расхода сетевой воды на отопление. Формула, описывающая характер регулирования, имеет вид

$$\bar{W}_0 = \frac{(0,5 + u)/(1 + u) \delta\tau' \bar{Q}_0 x}{\bar{W}_{\text{пр}} [(2\tau_1' - \alpha_{\text{пр}} \delta\tau') - (t_{\text{пр}}' + t_{\text{но}})] \tau_1 - (\tau_1 - 2t_{\text{н}}) \times} \rightarrow$$

$$\frac{\bar{W}_{\text{пр}} [(2\tau_1' - \alpha_{\text{пр}} \delta\tau') - (t_{\text{пр}}' + t_{\text{но}})] + \bar{W}_{\text{пр}}^m \alpha_{\text{пр}} \delta\tau' +}{\times \bar{W}_{\text{пр}}^m \alpha_{\text{пр}} \delta\tau' + \bar{W}_{\text{пр}}^{1+m} \tau_1} \cdot \quad (19)$$

$$\frac{- t_{\text{н}} - (\Delta t' \bar{Q}_0^{0,8} + t_{\text{вр}} - t_{\text{н}}) x}{+ \bar{W}_{\text{пр}}^{1+m}}$$

Зависимость (19) характеризует режим регулирования, рассчитанный как на поддержание постоянного расхода тепла в системе отопления, так и на программный отпуск тепла по часам суток. Так, для поддержания режима теплоподдачи по графику [4, рис. 1] необходимо при определении \bar{W}_0 подставлять следующие значения x : при работающей вентиляторной установке $x = 1 - \alpha_{\text{пр}} \cdot z_{\text{в}}/24$; при выключенном вентиляторе $x = 1 + \alpha_{\text{пр}} z_0/24$, где $z_{\text{в}}$ — время работы вентиляции в сутки; $z_0 = 24 - z_{\text{в}}$. Приведенными в статье зависимостями можно пользоваться для определения режимов работы ввода при постоянном и переменном расходе сетевой воды в тепловой сети. В первом случае принимается $\Delta \bar{H} = 1$; во втором $\Delta \bar{H}$ вычисляется по формуле (8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Липовка Ю. Л., Рохлецов Л. П. Последовательное присоединение калориферов к тепловым сетям. Сб. Проблемы теплоснабжения и вентиляции в условиях климата Восточной Сибири, Иркутск, 1977.
2. Рохлецов Л. П., Липовка Ю. Л. Определение расчетных расходов сетевой воды на вентиляцию и воздушное отопление. «Изв. вузов. Строительство и архитектура», 1978, № 10.
3. Чистович С. А. Гидравлический режим открытых тепловых сетей с переменным расходом воды. М., МКХ, 1955.
4. Липовка Ю. Л., Рохлецов Л. П. Исследование влияния неравномерности суточной теплоподдачи на температурный режим отапливаемых помещений. «Изв. вузов. Строительство и архитектура», 1978, № 1.

УДК 532.542

ИЗМЕРЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ УДАРЕ С РАЗРЫВАМИ СПЛОШНОСТИ ЖИДКОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Л. С. ГЕРАЩЕНКО, В. С. ТЕРНОВОЙ

Украинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации

Анализ результатов замеров колебаний давления в напорных трубопроводах при гидравлических ударах, приведенных в работах [1—6], показывает, что наибольшими повышениями давления сопровождается гидравлический удар с разрывами сплошности жидкости. Последний имеет место при выполнении условия

$$p_{\text{ав}} > \bar{p} - p_{\text{н.п}}$$