



Фото: ООО «Теплоизоляция-Холдинг»

Анализ гидравлического режима тепловой сети в переходный период

Введение

Цель данной работы заключается в изучении влияния переходного периода на гидравлический режим теплоносителя. Научная новизна работы заключается в изучении процессов, происходящих внутри тепловой сети в переходный период.

Актуальность работы заключается в том, что последние изменения климата на планете вносят коррективы в работу тепловых сетей. Неустоявшаяся погода и многократные изменения температуры (от отрицательной к положительной в течение зимнего периода года) оказывают новые воздействия на тепловые сети. Ранее гидравлический расчёт тепловых сетей не учитывал таких перепадов температуры. Соответственно, теплоноситель предусматривался для периода устоявшихся температур — либо отрицательных, либо положительных. Данные процессы ранее не изучались. Подобные перепады температуры не носили столь длительного характера, поэтому влиянию их на тепловые сети не предавали значения. Только в последнее время при аномально тёплых температурах зимой этот вопрос стал актуальным и требует более детального изучения.

Практическая значимость заключается в том, что изучение влияния переходного периода на тепловые сети позволит проводить более тщательный гидравлический расчёт. Более точный расчёт обеспечит возможность подбора для эксплуа-

тации трубопроводов и остального оборудования таким образом, чтобы минимизировать потери тепловой энергии на всём протяжении тепловой сети.

Под гидравлическим режимом тепловой сети понимают взаимную связь между давлениями (напорами) и расходами теплоносителя в различных точках сети в данный момент времени [1].

Гидравлический расчёт тепловых сетей раньше не учитывал резких зимних перепадов температур. Соответственно, теплоноситель предусматривался для периода устоявшихся температур — либо отрицательных, либо положительных. Данные процессы ранее не изучались

«Переходный период» — это период времени года, в котором температура колеблется от отрицательной к положительной. Актуальность изучения гидравлического режима тепловой сети в переходный период стала назреть в прошлом году, когда весь зимний период в средней полосе России температура колебалась от отрицательной к положительной.

По данным интернет-ресурса «Гисметео» [2], изменение температуры в январе 2020 года в городе Москве выглядело следующим образом (табл. 1, рис. 1).

Рецензия эксперта на статью получена 05.04.2021 [The expert review on the article received on April 5, 2021].

УДК 697.34. Научная специальность: 05.23.03.

Анализ гидравлического режима тепловой сети в переходный период

М. М. Царегородцев, аспирант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)

Рассмотрен анализ гидравлического режима тепловой сети в переходный период с помощью анализа пьезометрического графика. Проанализирован переходный период за январь 2020 года, рассмотрен алгоритм проведения гидравлического расчёта. На основании анализа сделаны выводы о гидравлическом режиме в переходный период.

Ключевые слова: гидравлический режим, тепловой расчёт, переходный период, температура окружающей среды, падение давления, трубопровод, диаметр трубопровода, пьезометрический график, подающий трубопровод, обратный трубопровод.

UDC 697.34. Scientific specialty number: 05.23.03.

Analysis of the hydraulic mode of the thermal network in transition period

M. M. Tsaregorodtsev, postgraduate student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)

The analysis of the hydraulic regime of the heating network during the transition period using the analysis of the piezometric graph is considered. The transition period for January 2020 is analyzed, an algorithm for conducting hydraulic calculations is considered. Based on the analysis, conclusions were drawn about the hydraulic regime during the arrival period.

Key words: hydraulic regime, thermal design, transition period, ambient temperature, pressure drop, pipeline, pipeline diameter, piezometric graph, supply pipeline, return pipeline.

Изменение температуры за январь 2020 года в Москве

табл. 1

День	$t, ^\circ\text{C}$	День	$t, ^\circ\text{C}$	День	$t, ^\circ\text{C}$	День	$t, ^\circ\text{C}$
1	-2	9	2	17	4	25	2
2	1	10	1	18	2	26	-1
3	2	11	0	19	0	27	-1
4	-1	12	0	20	3	28	-4
5	1	13	2	21	3	29	1
6	-1	14	1	22	0	30	-1
7	-1	15	3	23	-4	31	2
8	1	16	3	24	0	—	—

Как видно из табл. 1 и рис. 1, температура колебалась около нулевой отметки на протяжении всего месяца. Похожая ситуация наблюдалась и в другие зимние периоды.

От температуры окружающей среды зависит гидравлический расчёт тепловой сети. При гидравлическом расчёте определяют диаметр трубопроводов, падение давления, устанавливают величины давления в различных точках сети, увязываются все точки системы при статическом и динамическом режимах с целью обеспечения допустимых давлений и требуемых напоров в сети и абонентских системах. Иногда в задачу гидравлического расчёта входит определение пропускной способности трубопроводов при известном их диаметре и заданной потери давления.

Результаты гидравлического расчёта позволяют решить ряд задач: определить капиталовложения, расход металла, основной объём работ по сооружению тепловой сети; установить характеристики циркуляционных и подпиточных насосов, количество насосов и их размещение; выяснить условия работы тепловой и абонентских систем и выбрать схемы присоединения абонентских установок к тепловой сети; выбрать авторегуляторы для тепловой сети и абонентских вводов; а также разработать рациональные режимы эксплуатации.

Для проведения гидравлического расчёта задаются схема и профиль тепловой сети, указываются размещение станции и потребителей, расчётные нагрузки.

Гидравлический расчёт тепловых сетей, который применяют инженеры при проектировании, не учитывает переходного периода. Он сводится к следующему алгоритму: падение давления на горизонтальном участке трубопровода может быть представлено в виде двух слагаемых:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{л}}$ — линейное падение давления, Па; $\Delta P_{\text{м}}$ — падение давления в местных сопротивлениях, Па.

Линейное падение давления представляет собой падение давления на прямолинейных участках трубопровода за счёт трения. Падение давления в местном сопротивлении представляет собой падение давления в арматуре (задвижках, кранах и т.д.) и других элементах оборудования, размещённых неравномерно по длине трубопровода (коленах, шайбах, переходах и т.д.).

Линейное падение давления в трубопроводе определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{л}} = R_{\text{л}} l, \quad (2)$$

где $R_{\text{л}}$ — удельное линейное падение давления, то есть линейное падение давления на единицу длины трубопровода, Па/м; l — длина трубопровода, м.

Удельное падение давления в трубопроводе определяется исходя из хорошо известного уравнения д'Арсси:

$$R_{\text{л}} = \lambda \frac{w_2^2}{2} \frac{\rho}{d}, \quad (3)$$

где w_2 — скорость движения теплоносителя, м/с; λ — коэффициент гидравлического трения (безразмерная величина); ρ — плотность теплоносителя, кг/м³; d — внутренний диаметр трубы, м.

Если скорость транспортируемой среды (теплоносителя) выразить через уравнение неразрывности:

$$w = \frac{V}{f} = \frac{4V}{\pi d^2}, \quad (4)$$

то выражение для расчёта удельного падения линейного давления примет вид:

$$R_{\text{л}} = 0,8125 \lambda \frac{V^2}{d^5} \rho. \quad (5)$$

Коэффициент гидравлического трения определяется режимом течения и характером состояния внутренней поверхности трубопровода. В области ламинарного течения коэффициент гидравлического трения не зависит от состояния внутренней поверхности и определяется по формуле Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (6)$$

Выразив в критерии скорость через уравнение неразрывности и подставив значение l , определяемое по формуле (6), после преобразований получим:

$$R_{\text{л}} = 40,8 \gamma \frac{V}{d^4} \rho. \quad (7)$$

Это выражение показывает, что линейное падение давления прямо пропорционально первой степени расхода и обратно пропорционально четвёртой степени диаметра трубопровода.

Анализ гидравлического режима тепловой сети в переходный период можно выполнить на основе пьезометрического графика (графика напоров). Данный график отвечает всем требованиям, предъявляемым к гидравлическому режиму. Пьезометрический график благодаря наглядности позволяет легко ориентироваться в гидравлическом режиме тепловых сетей и местных систем.

Проектирование сети без учёта пьезометрического графика, особенно в условиях сложного профиля, может привести к нерациональным схемам присоединения абонентов, неоправданному сооружению насосных подстанций и усложнению эксплуатации всей системы теплоснабжения в целом.

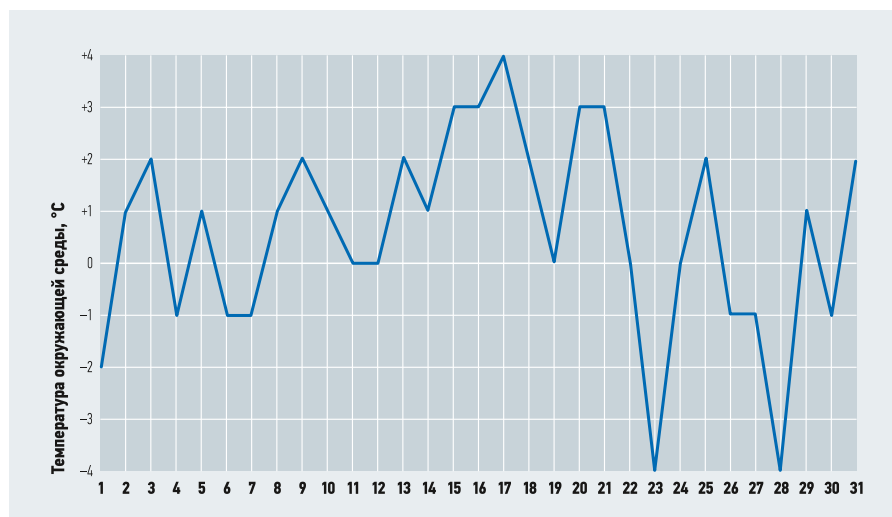


Рис. 1. Изменение температуры в январе 2020 года в Москве

Пьезометрический график позволяет определять следующие показатели: напоры в подающем и обратном трубопроводах, располагаемый напор в любой точке тепловой сети с учётом рельефа местности и т.д. Рассматриваемый график может быть построен только после выполнения гидравлического расчёта трубопроводов — по рассчитанным величинам падения давления на участках сети. На графике в выбранном масштабе нанесены профиль трассы тепловой сети; высоты отопительных систем, присоединённых к тепловой сети, условно равные высотам зданий; величины напоров насосов в любой точке сети при статическом и динамическом режимах.

Пьезометрический график тепловой сети представлен на рис. 2.

Данный график тепловой сети должен удовлетворять следующим условиям:

- давление в обратном трубопроводе H_0 должно быть выше статического давления в местных системах отопления, а значит линия «обратки» должна располагаться на графике выше любого из зданий и с запасом на 3–5 м;
- максимальное давление должно быть не выше 60 м вод. ст. (это необходимо для того, чтобы не разрушались чугунные радиаторы отопления);
- минимальное давление должно быть не меньше 5 м вод. ст. (это необходимо для того, чтобы не происходил подсос воздуха в трубопровод теплоснабжения и не было разрывов циркуляции во внутренних системах теплоснабжения и не появлялась коррозия [2, 3]).

Рассмотрим изменение температуры в подающем/обратном трубопроводах при изменении температуры окружающего воздуха в переходный период (рис. 3) [4].

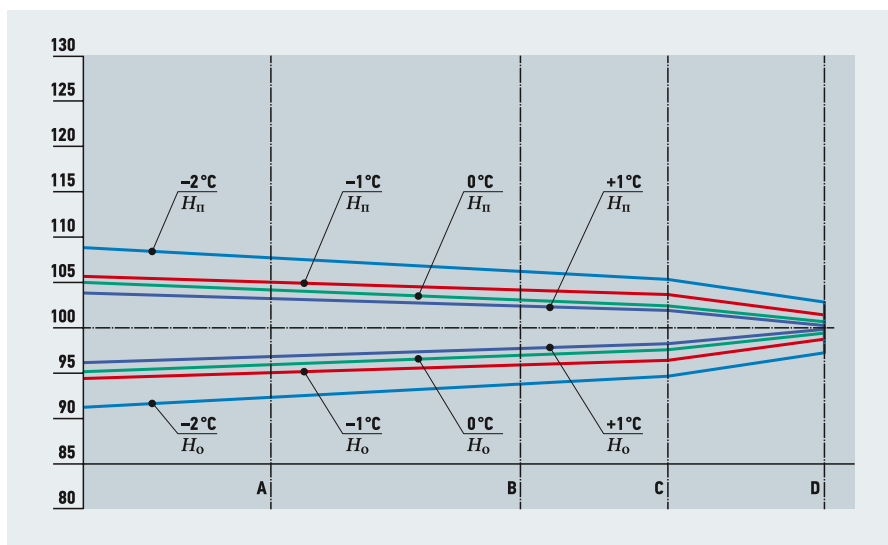


Рис. 3. Изменение температуры в подающем и обратном трубопроводе при изменении температуры окружающего воздуха в переходный период

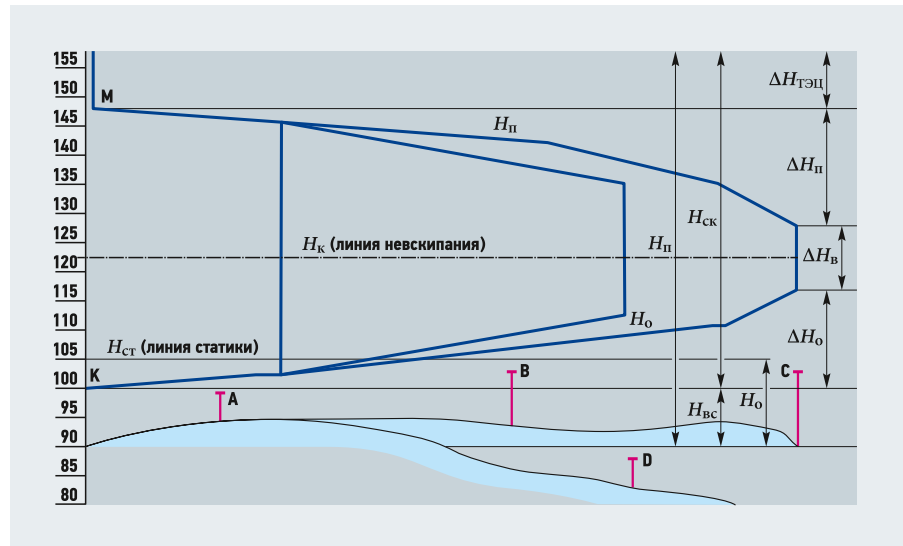


Рис. 2. Пьезометрический график тепловой сети

Как видно из построенного пьезометрического графика, чем выше температура окружающего воздуха, тем больше к прямой линии стремится кривая давления, как в подающем $H_п$, так и в обратном $H_о$ трубопроводах. Например, синяя линия давления в трубопроводе при -2°C более искривлена, чем фиолетовая при $+1^\circ\text{C}$.

Это связано с тем, что вода меньше остывает на всём протяжении трубопровода, так как температура окружающего воздуха становится выше. Соответственно, тем меньше становится перепад температуры и тем меньше будет изменение давления в трубопроводе [5, 6].

Тщательное изучение всех процессов, которые происходят в тепловой сети в переходный период, позволит осуществить более точные гидравлические расчёты и точнее подбирать материалы и оборудование

Заключение

Как видно из полученных данных, влияние переходного периода на гидравлический режим тепловой сети требует внимания, так как в этот период времени года происходят существенные процессы, которые воздействуют на давление и теплопотери по всей длине трубопровода.

Тщательное изучение всех процессов, которые происходят в тепловой сети в переходный период, позволит осуществить более точные гидравлические расчёты и точнее подбирать наиболее подходящие материалы и оборудование.

Теоретическая значимость данного анализа заключается в проработке гидравлического расчёта для тепловых сетей с учётом влияния на них переходного периода. Колебания температуры окружающей среды от отрицательной до положительной в течение длительного времени не учтены в имеющихся методах гидравлического расчёта тепловых сетей. Поэтому процесс требует корректировки.

Практическая значимость данного анализа заключается в том, что более тщательный гидравлический расчёт тепловых сетей позволит выполнить подбор трубопроводов и оборудования для их дальнейшей эксплуатации. Более точный подбор позволит повысить безотказность работы тепловых сетей, а также существенно сократить потери тепла. ●

1. О внесении изменений в Федеральный закон «О теплоснабжении» и отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам совершенствования системы отношений в сфере теплоснабжения: Федеральный закон от 19.07.2017 № 279-ФЗ.
2. Прогноз погоды [Электр. текст]. Gismeteo. Режим доступа: gismeteo.ru. Дата обраб.: 23.03.2021.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебн. для вузов. — М.: Изд-во МЭИ, 2001. 472 с.
4. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализ. ред. СНиП 41-01-2003. Дата введ.: 01.01.2013.
5. Авдолимов Е.М. Реконструкция водяных тепловых сетей. — М.: Стройиздат, 2015. 304 с.
6. Инженерное оборудование зданий и сооружений: Энциклопедия / Гл. ред. С.В. Яковлев. — М.: Стройиздат, 1994. 512 с.

References — see page 78.

Analysis of the hydraulic mode of the thermal network in transition period. Pp. 36–38.

M. M. Tsaregorodtsev, postgraduate student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)

1. *O vnesenii izmenenij v Federal'nyj zakon "O teplosnabzhenii" i otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii po voprosam sovershenstvovaniya sistemy otnoshenij v sfere teplosnabzhenija* [On amendments to the Federal Law "On Heat Supply" and certain legislative acts of the Russian Federation on improving the system of relations in the field of heat supply]. *Federal'nyj zakon ot 19.07.2017 № 279-FZ* [Federal Law of July 19, 2017 No. 279].
2. *Prognoz pogody* [Weather forecast]. Gismeteo. Web-source: gismeteo.ru. Access data: Mart 23, 2021.
3. Sokolov E. Ja. *Tëplokifikacija i teplovye seti: Uchebn. dlja vuzov* [Heating and heating networks: A textbook for universities]. 7th edition. Moscow. *Izd-vo MPEI* [Publishing House of Moscow Power Engineering Institute]. 2001. 472 p.
4. *SP 60.13330.2012* [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice) No. 60.13330.2012]. *Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha (Aktualiz. red. SNiP 41-01-2003)* [Updated edition of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 41-01-2003]. Data of init.: January 1, 2013.
5. E. M. Avdolimov. *Rekonstrukcija vodjanyh teplovyh setej* [Reconstruction of water heating networks]. Moscow. *Strojizdat* [Publishing House of literature on the construction and architecture ("Stroiizdat" Publishers)]. 2015. 304 p.
6. *Inzhenernoe oborudovanie zdaniy i sooruzhenij: Jenciklopedija* [Engineering equipment of buildings and structures: An encyclopedia]. Chief editor: S. V. Yakovlev. Moscow. *Strojizdat* [Publishing House of literature on the construction and architecture ("Stroiizdat" Publishers)]. 1994. 512 p.