DOI: 10.12737/article_5968b450a65e68.85903478

Малахов П.И., мастер цеха тепловых сетей
ОАО «Теплоэнерго»
Гущин С.В., студент,
Семиненко А.С., ст. преп.,
Киреев В.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ НОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

tgv.bel@gmail.ru

В настоящее время интенсивного городского строительства возникает необходимость присоединения новых абонентов к существующим тепловым сетям. Зачастую, данные подключения новых абонентов приводят к гидравлической разрегулировке сети, что в свою очередь сказывается на обеспечении существующих потребителей теплом. Для того чтобы, по возможности, снизить вероятность разрегулировки, необходимы соответствующие рекомендации, которые можно получить в ходе исследований. В статье, авторами был произведен соответствующий эксперимент, направленный на выявление тенденции влияния подключения новых абонентов на гидравлическую стабильность всей сети. Результатом исследования стали соответствующие рекомендации, которые будут полезны инженерным работникам как при проектировании новых, так и реконструкции старых сетей.

Ключевые слова: *централизованное теплоснабжение, тепловые сети, гидравлическая разрегулировка, надежность теплоснабжения, коэффициент гидравлической устойчивости.*

Введение. Поскольку от бесперебойного и качественного теплоснабжения зависит не только экономическая [1] и энергетическая, но и социальная безопасность государства [2], обеспечение тепловой энергией потребителей является одной из наиболее важных задач, как энергетической отрасли страны, так и всей Российской Федерации.

Перспективы развития централизованного теплоснабжения определяются задачами совершенствования и повышения эффективности строительства и эксплуатации теплоисточников, систем транспортирования и потребителей тепла [3–4]. Важным этапом современного развития централизованного теплоснабжения крупных городов, особенно в связи со строительством зданий повышенной этажности, является повышение надежности теплоснабжения.

Так, ежегодно происходит подключение потребителей к тепловым сетям или же их отключение, реконструкция трубопроводов, введение в эксплуатацию или вывод из эксплуатации котельных. Однако существующие способы регулирования отпуска теплоты в водяных системах теплоснабжения не обеспечивают в течение всего отопительного сезона потребителей требуемым количеством тепловой энергии. Все это приводит к несоответствию у абонентов фактических расходов теплоносителя проектным [2]. Как следствие возникает гидравлическая разрегулировка тепловой сети [5].

Основная часть. Для решения этой проблемы необходимо достижение стабильного гидравлического режима или максимального показателя гидравлической устойчивости тепловой сети в течение всего отопительного периода [6–7].

Под коэффициентом гидравлической устойчивости понимают способность системы сохранять постоянный расход теплоносителя на абонентских вводах при изменении условий работы других потребителей.

Коэффициент гидравлической устойчивости определяется по формуле:

$$K_у = Gф/Gр, \quad (1)$$

где Gф – фактический расход сетевой воды на абонентском вводе; Gр – расчетный (максимально возможный) расход сетевой воды на абонентском вводе.

Для исследования влияния подключения потребителей на гидравлическую устойчивость тепловых сетей мы создали модель потокораспределения теплосети отдельного микрорайона, на основе методики гидравлического расчета по характеристикам сопротивления [8–10]. На рисунке 1 приведена схема системы теплоснабжения расчетного микрорайона с тремя точками последующего подключения новых потребителей. Гидравлический расчет микрорайона методом характеристик сопротивления произвели с помощью программного комплекса Microsoft Excel. Результаты представлены в таблице 1.

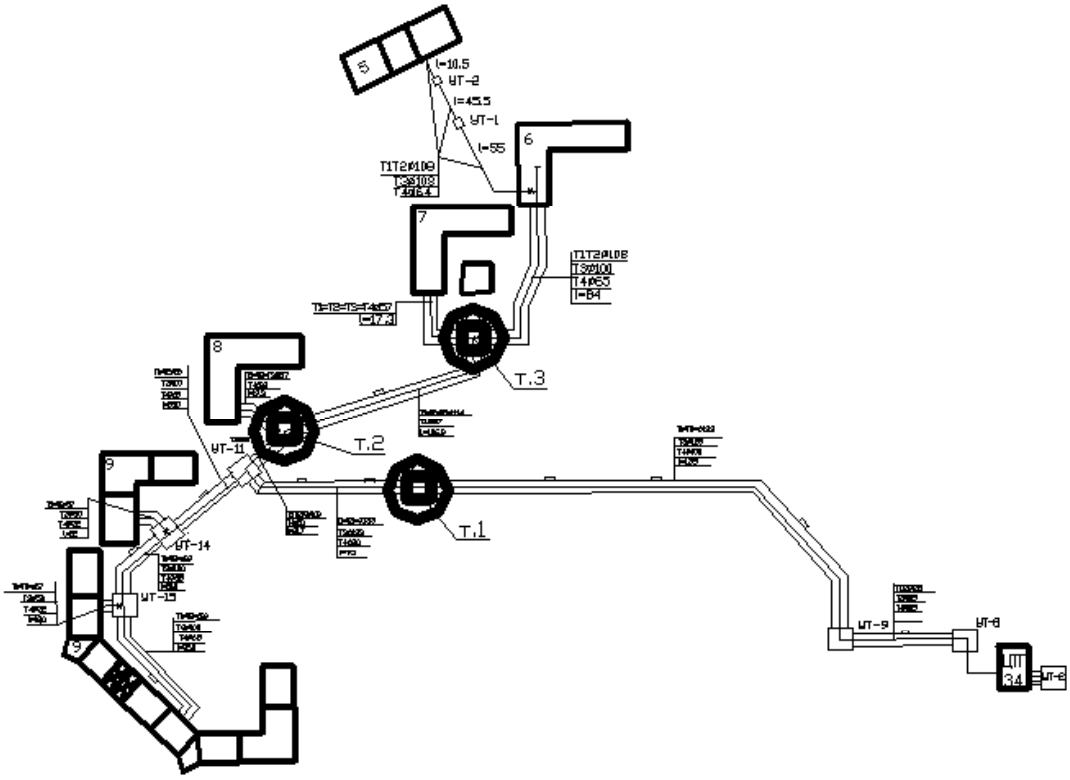

Рис. 1. Схема системы теплоснабжения расчетного микрорайона с точками последующего подключения новых потребителей

Таблица 1

Результаты гидравлического расчета микрорайона методом характеристик сопротивления

№ участка		Диаметр трубопровода	Длина участка	Общая нагрузка	Расход сетевой воды	Потери давления на участке	Располагаемый напор	Характ. сопр. S, м·ч²/м⁶		S·Q²
		мм	м	Гкал/ч	м³/ч	м. вод. ст.	м	Участка	Парал. Послед.	м. вод. ст.
жд6	УТ13	108	84	0,9599	12	0,456	16,5	0,120917	0,055572	17,41
жд7	УТ13	76	17,3	0,4526	5,7	0,153	17,1	0,535734		
УТ12	УТ13	114	106,9	1,4125	17,7	0,922	17,5	0,005886	0,061458	19,25
жд8	УТ12	57	19,3	0,4193	5,2	0,839	17,6	0,712944	0,036726	19,26
УТ12	УТ11	133	21,7	1,8318	22,9	0,13	19,3	0,000496	0,037222	19,52
УТ14	УТ11	108	33	1,5248	19,1	0,493	18,6	0,053920	0,011104	
УТ11	УТ10	159	95	3,3566	42	0,767	19,6	0,000870	0,011974	21,12
УТ10	УТ9	159	139	3,3566	42	1,122	21,1	0,001272	0,013246	23,37
УТ9	УТ8	159	74	3,3566	42	0,597	23,3	0,000677	0,013923	24,56
УТ8	ЦТП	133	34,5	3,3566	42	0,736	24,5	0,000834	0,014757	26,03
жд9	УТ15	89	72	0,8179	10,2	0,906	16,3	0,174087	0,097948	
жд9	УТ15	57	18	0,2723	3,4	0,365	17,4	1,568339		
УТ15	УТ14	108	31	1,0902	13,6	0,237	18,1	0,002563	0,100511	
жд9	УТ14	57	22	0,2	5,5	0,31	18,3	0,625455	0,051217	
УТ14	УТ11	108	33	1,5248	19,1	0,493	18,6	0,002703	0,053920	
жд5	УТ7	108	30	0,4713	5,9	0,048	20,1	0,580178	0,164014	20,2
жд4	УТ7	89	30	0,4193	5,2	0,111	20	0,747855		20,2
УТ7	УТ6	108	85	0,8906	11,1	0,482	20,2	0,007824	0,171838	20,2
УТ6	жд4-3	89	26,7	0,8563	10,7	0,412	20,4	0,185379	0,044604	
УТ6	УТ5	133	62,5	1,7469	21,8	0,409	21,2	0,001721	0,046325	
УТ5	УТ4	133	60	1,7469	21,8	0,34	22	0,001431	0,047756	

Продолжение таблицы 1

№ участка		Диаметр трубопровода	Длина участка	Общая нагрузка	Расход сетевой воды	Потери давления на участке	Располагаемый напор	Характ. сопр. S, м·ч²/м⁶		S·Q²
		мм	м	Гкал/ч	м³/ч	м. вод. ст.	м	Участка	Парал. Послед.	м. вод. ст.
УТ4	УТ3	133	91	1,8929	23,7	0,605	22,7	0,002154	0,049910	
жд2	УТ3	76	13,5	0,5619	7	0,203	23,5	0,487878	0,028651	
УТ3	УТ2	133	27	2,4548	30,7	0,314	23,9	0,000666	0,029318	
жд2	УТ2	76	14,7	0,6916	8,6	0,335	23,9	0,332207		24,6
УТ1	УТ2	108	59	1,71116	21,4	1,109	22,3	0,045550	0,006652	
УТ2	ЦТП	159	13	4,8992	61,2	0,227	24,5	0,000121	0,006773	25,37
школа	УТ16	76	42	1,1125	13,9	2,5	11,5	0,085399	0,058001	15,9
хоз.блок	УТ16	57	30	0,192	2,4	0,3	10,2	1,875000		3,4
УТ16	УТ1	76	14	1,3045	16,3	1,136	16,5	0,008551	0,066552	19,3
1а-1	УТ1	76	25	0,41	5,1	0,148	22	0,857209	0,040707	5,4
УТ1	УТ2	108	59	1,71116	21,4	1,109	22,3	0,004843	0,045550	23,4

Найдя характеристики сопротивления каждого участка и всей сети, определили необходимое количество опытов (пересчетов гидравлических характеристик) исходя из теории полного факторного эксперимента. [11]

Полный факторный эксперимент – это эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов. Необходимое количество опытов n при этом определяется по формуле:

$$n=N^k=3^2=9, \quad (2)$$

где N – количество уровней факторов, k – количество факторов.

В нашем случае факторами являются точка подключения нового потребителя и его тепловая нагрузка. Таким образом, количество факторов k=2, количество уровней факторов N=3. Таким образом, девять пересчетов гидравлических характеристик будут удовлетворять требованиям проведения полного факторного эксперимента.

С помощью программного комплекса Microsoft Excel выполнили пересчет гидравлических характеристик тепловой сети, с учетом поочередного подключения в точке 1, точке 2 и точке 3 нового потребителя с тепловой нагрузкой, равной 10, 50 и 90 % от нагрузки ветви.

По формуле (1) определили коэффициент гидравлической устойчивости для жилых домов. Результаты вычисления коэффициента гидравлической устойчивости жилого дома №6 свели в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты вычисления коэффициента гидравлической устойчивости жилого дома №6

$\frac{Q_i}{Q_{общ}}$ \ $\frac{Q'}{Q_{общ}}$	0	0,42	1
0,1	0,965	0,982	0,987
0,5	0,843	0,921	0,944
0,9	0,750	0,871	0,907

где Q' – тепловая нагрузка после точки подключения нового потребителя, Гкал/ч;
$Q_{общ}$ – общая тепловая нагрузка на ветвь, Гкал/ч; Q_i – тепловая нагрузка подключаемого потребителя, Гкал/ч.
Отношение $\frac{Q'}{Q_{общ}}$ условно выражает координату точки подключения потребителя.

Анализ результатов вычисления коэффициента гидравлической устойчивости жилого дома №6 (рис. 6) показал, что величина изменения коэффициента гидравлической устойчивости находится в пределах от 1 % до 25 %. Понижение коэффициента гидравлической устойчивости негативно влияет на надежность всей системы теплоснабжения [6–7]. Так, в таблице 3 приведена зависимость показателя надежности системы теплоснабжения от коэффициента гидравлической устойчивости.

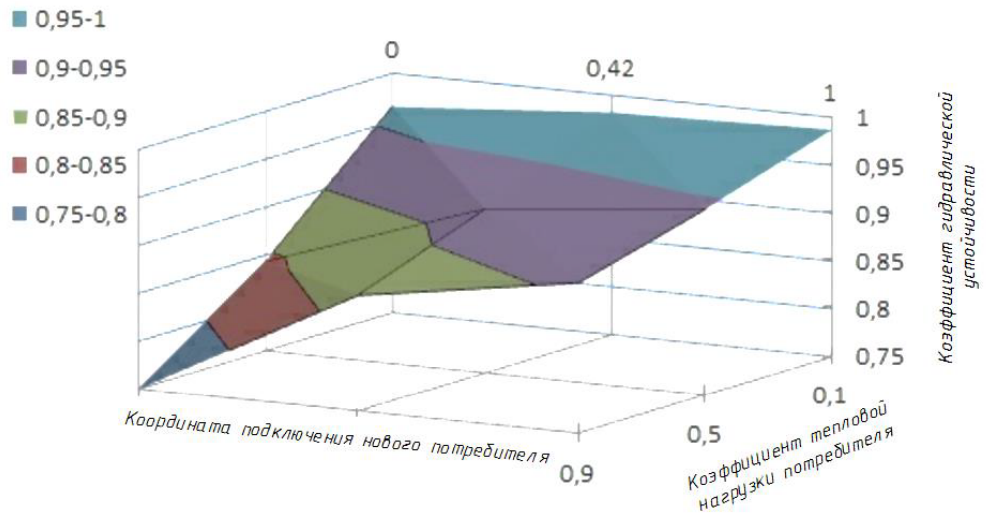

Рис. 2. Зависимость коэффициента гидравлической устойчивости жилого дома №6 от тепловой нагрузки и точки подключения нового потребителя

Таблица 3

Зависимость показателя надежности системы теплоснабжения от коэффициента гидравлической устойчивости

Изменение гидравлической устойчивости, доля ед.	Максимальный предел надежности, доля ед.
До 0,05	0,93–0,91
0,060–0,10	0,90–0,84
0,11–0,15	0,83–0,79
0,16–0,20	0,78–0,71
0,21–0,25	0,70–0,66
0,26–0,30	0,65–0,61
0,31–0,35	0,60–0,56

В соответствии с СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» (актуализированная редакция СНиП 41-02-2003), минимально допустимый показатель вероятности безотказной работы системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) в целом следует принимать равным $P_{сцт} = 0,86$. А минимально допустимый показатель готовности СЦТ к исправной работе принимается $K_г = 0,97$ [9]. Таким образом, минимально допустимый показатель надежности системы централизованного теплоснабжения находится по формуле:

$$H_{сцт} = P_{сцт} \cdot K_г = 0,86 \cdot 0,97 = 0,83 \qquad (3)$$

Показатель надежности $H_{сцт} = 0,83$ соответствует 0,11 доли единиц изменения гидравлической устойчивости системы согласно табл. 3. Значит, при уменьшении гидравлической устойчивости ниже данного значения система теплоснабжения не будет являться надежной.

Таким образом, по табл.2. видим, что при подключении в каждой рассмотренной точке потребителя с тепловой нагрузкой, равной 10% от нагрузки ветви, величина изменения гидравлической устойчивости всегда остается в пределах допустимой для обеспечения надежности системы теплоснабжения. А при подключении во всех рассмотренных точках потребителя с тепловой нагрузкой, равной 90% от нагрузки ветви, величина изменения гидравлической устойчивости не удовлетворяет уровню обеспечения надежности системы теплоснабжения. При подключении в точке 1 и 2 потребителя с тепловой нагрузкой, равной 50% от нагрузки ветви, величина изменения гидравлической устойчивости остается в пределах допустимой для обеспечения надежности системы теплоснабжения, а при подключении в точке 3 не удовлетворяет требованиям обеспечения надежности.

Выводы. Таким образом, чем больше тепловая нагрузка подключаемого потребителя и чем ближе к конечному потребителю он расположен, тем большее влияние оказывается на его коэффициент гидравлической устойчивости. Для устранения разрегулировки необходимо выполнение расчетов потокораспределения, и в случае отклонения реальных расходов от расчетных значений проведение наладочных мероприятий. По существу, наладочные мероприятия заключаются в увязке гидравлических сопротивлений теплопотребляющих установок в соответствии с режимом работы сетевого оборудования [5, 14, 15] и требуемыми расходами теплоносителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кущев Л.А., Дронова Г.Л. Пути снижения энергозатрат в жилищно-коммунальном хозяйстве // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2008. №2. С. 24–-25.

2. Парамонова Е.Ю., Елистратова Ю.В., Семиненко А.С. Проблема перетопов и недотопов в отопительный период // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 48–50.

3. Balaman Ş. Y., Selim H. Sustainable design of renewable energy supply chains integrated with district heating systems: A fuzzy optimization approach. Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 133. Pp 863–885.

4. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения часть 1. проблемы российских систем теплоснабжения // Энергосбережение. 2010. № 2. С. 46–54.

5. Стерлигов В.А., Мануковская Т.Г., Крамченко Е.М. Системы водяного теплоснабжения и отпуск теплоты // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. №12 (132). С. 60–63.

6. Абдулаев Д.А., Маркелова Е.А., Сабирзянов А.Р., Миронов Н.Ю. Гидравлическая устойчивость тепловой сети // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1 (52). С. 67–85.

7. Пашенцева Л.В. Влияние нарушения гидравлической устойчивости на надежность теплоснабжения // Строительство и техногенная безопасность. 2012. №44. С. 85–88.

8. Minko V.A., Seminenko A.S., Alifanova A.I., Elistratova J.V., Tkach L.V. Assumptions and premises of heating systems hydraulic calculation methods: part 2 // Ecology, Environment and Conservation Paper. 2015 Vol 21. Issue 2. Pp. 1075-1080.

9. Брянская Ю.В. Совершенствование методов гидравлического расчета характеристик течения и сопротивления в трубах / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет). Москва, 2003

10. Минко В.А., Семиненко А.С., Елистратова Ю.В. Допущения и предпосылки методов гидравлического расчета систем отопления // Успехи современного естествознания. 2014. № 4. С. 114–118.

11.Горленко О.А., Можаева Т.П., Проскурин А.С. Метод анализа полных факторных экспериментов // Методы менеджмента качества. 2009. № 3. С. 44–48.

12.СП 124.13330.2012 «Тепловые сети». Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. введ. 2013–01–01.

13.Ананьина Л.И., Первак Г.И. Гидравлическая устойчивость абонентских установок // Сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции. 2015. С. 12–14.

14. Шеремет Е.О., Семиненко А.С. Применение тепловых насосов в системах централизованного теплоснабжения в целях повышения экономичности и энергоэффективности тепловых сетей // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 54–57.

15.Скрипченко А.С. Оптимизация теплогидравлического режима тепловых сетей // Материалы XI Международной учебно-научно-практической конференции. Трубопроводный транспорт -2016. Уфа: УГНТУ 2016. С. 377–379.

Malakhov P.I., Gushchin S.V., Seminenko A.S., Kireev V.M.

INFLUENCE OF CONNECTION OF NEW CONSUMERS ON HYDRAULIC STABILITY OF THERMAL NETWORKS

At present, intensive urban construction, there is a need to connect new subscribers to existing heating networks. Often, the data connection of new subscribers leads to a hydraulic misalignment of the network, which in turn affects the provision of existing consumers with heat. In order, if possible, to reduce the likelihood of misalignment, appropriate recommendations are needed that can be obtained during the research. In the article, the authors carried out a corresponding experiment aimed at revealing the tendency of the connection of new subscribers to the hydraulic stability of the entire network. The result of the research became relevant recommendations, which will be useful for engineering workers both in the design of new ones and in the reconstruction of old networks.

Key words: *centralized heat supply, heat networks, hydraulic misalignment, reliability of heat supply, coefficient of hydraulic stability.*

Малахов Павел Иванович, мастер цеха тепловых сетей, ОАО «Теплоэнерго».
Адрес предприятия: Россия, 309507, Старый Оскол, ул. Ватутина, д. 83
E-mail: malahov.p@mail.ru

Гущин Сергей Васильевич, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: guschin-c262@yandex.ru

Семиненко Артем Сергеевич, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: seminenko.as@gmail.ru

Киреев Виталий Михайлович, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: vit31rus@mail.ru