

Научная статья  
УДК 697.34

## ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Дмитрий Юрьевич Лебедев<sup>1</sup>, Владимир Анатольевич Микула,  
Павел Валентинович Осипов**

Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> [lebedev.dmitry.098@gmail.com](mailto:lebedev.dmitry.098@gmail.com)

**Аннотация.** В статье представлен анализ основных этапов оптимизации гидравлического режима системы централизованного теплоснабжения горно-обогатительного комбината от ТЭЦ.

**Ключевые слова:** оптимизация, энергоэффективность, экономичность, верификация, наладка

**Для цитирования:** Лебедев Д. Ю., Микула В. А., Осипов П. В. Оптимизация гидравлического режима работы тепловых сетей на промышленных предприятиях // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2021 = Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021 : сборник научных трудов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. С. 141–147.

Original article

## HYDRAULIC OPERATION MODE OPTIMIZATION FOR THE INDUSTRIAL PLANT HEATING NETWORKS

**Dmitry Yu. Lebedev<sup>1</sup>, Vladimir A. Mikula, Pavel V. Osipov**

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> [lebedev.dmitry.098@gmail.com](mailto:lebedev.dmitry.098@gmail.com)

---

© Лебедев Д. Ю., Микула В. А., Осипов П. В., 2023

**Abstract.** The paper presents an analysis of the main aspects to optimize the hydraulic mode of the centralized heat supply system of a mining and processing plant from cogeneration power plant.

**Keywords:** optimization, energy efficiency, cost-effectiveness, verification, adjustment

**For citation:** Lebedev D. Yu., Mikula V. A., Osipov P. V. (2023). Optimizaciya gidravlicheskogo rezhima raboty teplovyh setej na promyshlennyh predpriyatiyah [Hydraulic Operation Mode Optimization for the Industrial Plant Heating Networks]. *Ehnergo- i resursosberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netradicionnye i vozobnovlyaemye istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika. Danilovskie chteniya — 2021* [Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021]. Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2023. P. 141–147. (In Russ).

**В** настоящее время регулирование и оптимизация теплогидравлических режимов систем теплоснабжения является актуальным направлением совершенствования этих систем и снижения углеродного следа, так как на предприятиях на данный вид энергопотребления приходится значительная доля использования первичных энерго-ресурсов. Наиболее эффективно используется топливо на источниках, оборудованных современными газотурбинными и парогазовыми установками с утилизацией тепла для целей теплоснабжения. Комплексная регулировка гидравлического режима также позволяет повысить надежность работы системы [1, с. 69–73].

В работе на примере одного из горно-обогатительных комбинатов рассматривается последовательность шагов по оптимизации гидравлического режима.

На начальном этапе проводится сбор исходных данных по исследуемым элементам схемы: источнику, участкам тепловой сети, потребителям.

Обследование источника необходимо для оценки параметров теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе: давление, температура, расход. Как правило, на ТЭЦ ведется автоматизированный учет данных показателей с возможностью выгрузки для дальнейшей обработки (рис. 1).

По участкам тепловой сети уточнение исходных данных по конфигурации, длинам, диаметрам и прокладке проводится на базе существующей схемы, а также с использованием данных картографических сервисов. В случае необходимости замеры проводятся на месте.

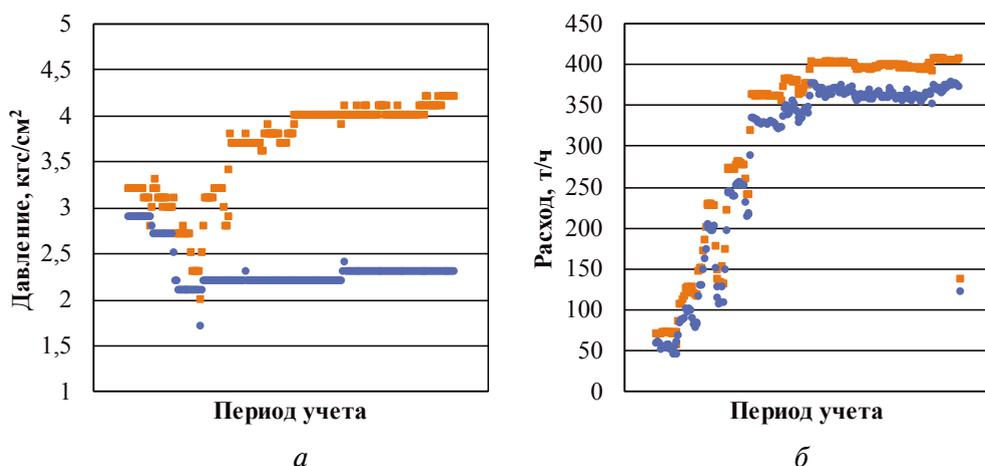


Рис. 1. Учет параметров теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе:  
 а — давление в подающем (красные точки) и обратном (синие точки) трубопроводе;  
 б — расход в подающем (красные точки) и обратном (синие точки) трубопроводе

Исходные данные по цеховым потребителям предприятия в большинстве случаев представляют наибольший пробел в исходных данных. Проектные нагрузки существенно отличаются от текущих рабочих режимов, поэтому требуется обработка данных узлов учета потребителя или проведение замеров расхода давления и температуры на вводе.

После сбора исходной информации необходимо провести обработку данных учета на ТЭЦ за отопительный период с учетом принятого температурного графика. Обработка проводится по методике, представленной в Приказе Минрегиона РФ от 28.12.2009 № 610 «Об утверждении правил установления и изменения (пересмотра) тепловых нагрузок» [2]. Применение методики для сферы ЖКХ показывает, что фактическая расчетная нагрузка оказывается ниже договорной [3].

Данные о количестве тепловой энергии, направленной за каждый час периода, определялись в соответствии с формулой:

$$Q_{0,j}^h = \frac{1}{N} Q_0^{сут}, \quad (1)$$

где  $Q_{0,j}^h$  — среднее за  $j$ -е сутки часовое потребление тепловой энергии на цели отопления, Гкал/ч;  $N$  — число периодов усреднения за сутки (как правило,  $N = 24$ );  $Q_0^{сут}$  — данные с прибора (приборов) узла учета о количестве тепловой энергии, направленной в теплопотребляющую установку объекта теплопотребления.

Итоговая формула для нахождения приближенной функциональной линейной зависимости часового потребления тепловой энергии  $Q_o^i$  на цели отопления от температуры наружного воздуха  $t_{нар}$ :

$$Q_o^i = b_0 - b_1 \cdot t_{нар}, \quad (2)$$

где  $b_0$  — сдвиг линейной функции относительно начала координат;  $b_1$  — наклон прямой. Результаты зависимости по данным учета представлены на рис. 2.

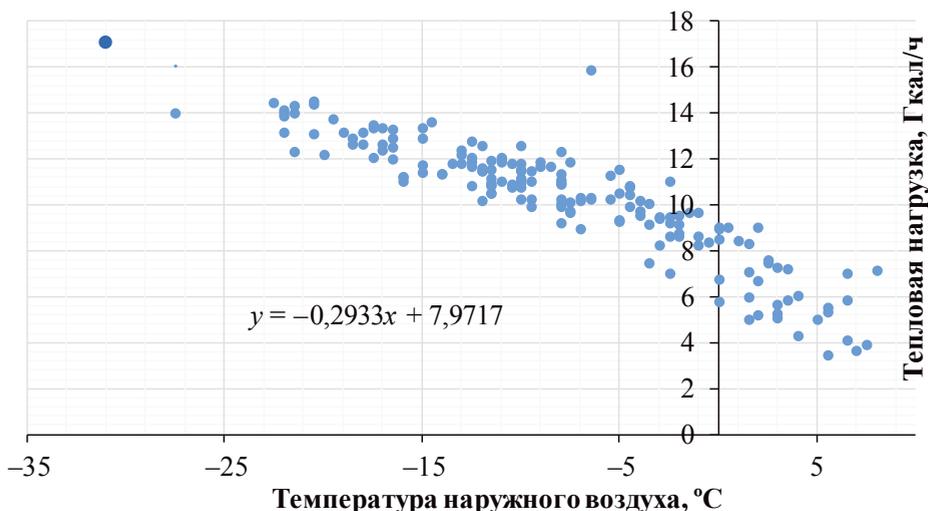


Рис. 2. Результаты обработки данных учета

По найденному уравнению аппроксимации определяется максимальный часовой расход тепловой энергии на систему отопления при расчетной температуре наружного воздуха  $t_{нар} = 31$  °C, тогда  $Q_o^i = 17,1$  Гкал/ч.

Также рассмотрен модифицированный расчет фактической тепловой нагрузки при недостатке данных за весь отопительный сезон. Расчет предусматривает выборку точек в интервале от  $-25$  ... до  $+5$  °C с шагом  $5$  °C и построение зависимости по уравнению (2). Полученное значение по модифицированной методике составило  $Q_o^{i,мод} = 15,8$  Гкал/ч, что на  $7,5\%$  ниже фактического, рассчитанного за весь отопительный период. Таким образом, модифицированный способ может быть рекомендован для использования при определении расчетной тепловой нагрузки.

По данным  $Q^i$  и данным суммарного расхода теплоносителя от ТЭЦ проводится корректировка расчетных тепловых нагрузок потребителей пропорционально данным замеров расхода на самих потребителях.

Собранные и скорректированные сведения являются основой для создания модели тепловой сети предприятия. Опыт решения учебно-исследовательских задач показывает, что расчетный модуль *Zulu Thermo* (Политерм) является удобным инструментом для моделирования гидравлического режима тепловой сети как при текущих показателях (Поверка), так и в режиме с установленными дросселирующими устройствами у потребителей (Наладка).

В результате поверочного расчета полученный суммарный расход теплоносителя в среднем отличался от данных учета не более чем на 3%. Результаты сравнения данных по давлениям на вводе представлены в табл. ниже.

Таблица

Давление в подающем/обратном трубопроводе у потребителя, кгс/см<sup>2</sup>

Потребитель	Данные расчета	Данные замера
1	3,5/2,8	3,2/2,8
2	3,4/2,8	3,4/3,2
3	3,1/2,6	3,2/2,8
4	3,7/3,4	3,3/2,8
5	3,3/3,2	3,8/3
6	3,5/3,2	3,7/3,4
7	4,0/3,9	4,0/3,8

Отличие значений давления можно объяснить влиянием таких параметров, как шероховатость и зарастание участков, коэффициент местных сопротивлений, которые при доработке модели могут быть скорректированы для отдельных элементов.

На заключительном этапе верифицированная модель системы теплоснабжения служит основой для проведения наладочного расчета и определения диаметра дросселирующих шайб. Простые шайбы имеют неизменное проходное сечение, что усложняет процесс регулировки гидравлического режима и исключает оперативное вмешательство в распределение потоков при изменении параметров потребителя. В то же время балансировочные клапаны лишены этого недостатка, вследствие чего для промышленных потребителей они представляют больший интерес как инструмент регулирования. Например, при по-

лучении неудовлетворительных температурных показателей у потребителя возможно оперативное внесение изменений в настройки балансировочного клапана. Необходимо учесть, что установка нескольких балансировочных клапанов на отводах внутренней сети крупного цехового потребителя является более предпочтительным вариантом, чем установка одного клапана на вводе потребителя.

Таким образом, предлагаемая последовательность шагов по оптимизации гидравлического режима работы тепловых сетей предприятия позволяет повысить технико-экономические показатели работы системы теплоснабжения.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абдулаев Д. А., Маркелова Е. А. Гидравлическая устойчивость сети URL: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2017/1\(52\)/6\\_abdulaev\\_52.pdf](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2017/1(52)/6_abdulaev_52.pdf) (дата обращения: 06.12.2021).

2. Об утверждении правил установления и изменения (пересмотра) тепловых нагрузок : приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 28.12.2009 № 610. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902198662> (дата обращения: 06.12.2021).

3. Юферев Ю. В., Артамонова И. В., Горшков А. С. Об анализе тепловых нагрузок потребителей при разработке и актуализации схем теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2017. № 08 (204). URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3802](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3802) (дата обращения: 06.12.2021).

### References

1. Abdulaev D. A., Markelova E. A. Hydraulic stability of the network URL: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2017/1\(52\)/6\\_abdulaev\\_52.pdf](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2017/1(52)/6_abdulaev_52.pdf) (date of access: 06.12.2021).

2. On approval of the rules for the establishment and Modification (revision) of thermal loads : Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation dated 28.12.2009 No. 610. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902198662> (date of access: 06.12.2021).

3. Yuferev Yu. V., Artamonova I. V., Gorshkov A. S. On the analysis of thermal loads of consumers during the development and updating of heat supply schemes // Heat supply news. 2017. No. 08 (204). URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3802](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3802) (date of access: 06.12.2021).

## Информация об авторах

**Дмитрий Юрьевич Лебедев** — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [lebedev.dmitry.098@gmail.com](mailto:lebedev.dmitry.098@gmail.com)

**Владимир Анатольевич Микула** — кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [mikoula@yandex.ru](mailto:mikoula@yandex.ru)

**Павел Валентинович Осипов** — старший преподаватель кафедры тепловых электрических станций Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [p.v.osipov@urfu.ru](mailto:p.v.osipov@urfu.ru)

## Information about the authors

**Dmitry Y. Lebedev** — Student of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [lebedev.dmitry.098@gmail.com](mailto:lebedev.dmitry.098@gmail.com)

**Vladimir A. Mikoula** — Associate Professor of the department of Thermal Power Engineering Stations of the Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [mikoula@yandex.ru](mailto:mikoula@yandex.ru)

**Pavel V. Osipov** — Senior Lecturer of the Department of Thermal Power Plants Ural Power Engineering Institute of the Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [p.v.osipov@urfu.ru](mailto:p.v.osipov@urfu.ru)