

## РАДИУС ЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НОВОКУЙБЫШЕВСКОЙ ТЭЦ-1

*Сидоров Валерий Евгеньевич*  
Самарский Государственный Технический Университет,  
Самара

---

Многие десятилетия российская энергетика была ориентирована на централизованное теплоснабжение, т.к. считалось, что оно технически и экономически более эффективно. Однако обеспечение теплом большого числа потребителей от одного источника тепловой энергии имеет недостатки, которые снижают надёжность и экономичность этих систем. Основным всегда остаётся вопрос о подключении новых потребителей тепловой энергии с учётом бесперебойного обеспечения теплом всех уже функционирующих объектов. Система централизованного теплоснабжения имеет сложную структуру, и её работа зависит от большого числа параметров. Оптимальный отпуск теплоты зависит от многих факторов.

Впервые в 1935 г. для анализа эффективности централизованного теплоснабжения С.Ф. Копьевым [3] были применены два симплекса: удельная материальная характеристика  $\mu$  и удельная длина  $\lambda$  тепловой сети в зоне действия источника теплоты. В первом случае удельная материальная характеристика тепловой сети представляла собой отношение материальной характеристики тепловой сети, образующей зону действия источника теплоты, к присоединенной к этой тепловой сети тепловой нагрузке. Во втором случае, это отношение протяженности трассы тепловой сети к присоединенной к этой тепловой сети тепловой.

За прошедшее с момента интенсивного развития теплофикации в России время использовано много понятий, в основе которых лежало определение радиуса теплоснабжения, наиболее распространенные из них: *оптимальный радиус теплоснабжения*; *оптимальный радиус теплофикации*; *радиус надежного теплоснабжения*. Относительно недавно появилось и новое понятие о *радиусе эффективного теплоснабжения*, которым необходимо оперировать при перспективном строительстве тепловых сетей и оценки качества теплоснабжения в целом.

За прошедшее с момента интенсивного развития теплофикации в России время использовано много понятий, в основе которых лежало определение радиуса теплоснабжения, наиболее распространенные из них: *оптимальный радиус теплоснабжения*; *оптимальный радиус теплофикации*; *радиус надежного теплоснабжения*. Относительно недавно появилось и новое понятие о *радиусе эффективного теплоснабжения*, которым необходимо оперировать при перспективном строительстве тепловых сетей и оценки качества теплоснабжения в целом.

С момента введения в действие закона «О теплоснабжении» появилось еще одно определение: *радиус эффективного теплоснабжения* – это максимальное расстояние от теплопотребляющей установки до ближайшего источника тепловой энергии в системе теплоснабжения, при превышении которого подключение теплопотребляющей установки к данной системе теплоснабжения нецелесообразно по причине увеличения совокупных расходов в системе теплоснабжения.

Для решения задачи о том, куда присоединять перспективную тепловую нагрузку вновь возникающих потребителей, к какому источнику, к какой магистрали, к какому отводу от магистрали, потребуется некий набор аналитических инструментов

Радиус теплоснабжения( или отношение оборота тепла к суммарной расчетной тепловой нагрузке всех абонентов) структурируется в рамках следующих диапазонов:

- поселковые и внутриквартальные тепловые сети – до 250 м; сети распределительные межквартальные от 250 до 1000 м;
- сети магистральные( без значительного количества транзита) – от 1000 до 2500 м;
- сети транзитные (стволы выводов)–от2,5до5км.

Попытка определить аналитическое выражение для оптимального, предельного и экономического радиуса передачи тепла впервые была сделана в «Нормах по проектированию тепловых сетей», изданных в 1938 г. [4] [8]

Е.Я. Соколов [5; 7] предложил методику, в которой приведены основные аналитические соотношения и требования для определения оптимального радиуса действия тепловых сетей. Так было предписано при тепловом районировании крупных городов для определения числа и местоположения теплоэлектроцентралей и крупных котельных: «учитывать оптимальный радиус действия тепловых сетей, при котором удельные затраты на выработку и транспорт тепла от одной теплоэлектроцентрали являются минимальными».

К сожалению, у всех этих формул есть один, но существенный недостаток. В своем большинстве это эмпирические соотношения, построенные не только на базе экономических представлений 1940-х гг., но и использующие для эмпирических соотношений действующие в то время ценовые индикаторы. Альтернативой предложенному полуэмпирическому методу анализа влияния радиуса теплоснабжения на необходимую валовую выручку транспорта теплоты является прямой метод расчета себестоимости, органично встроенный в

обязательные в настоящее время для применения компьютерные модели тепловых сетей на базе различных ИГС платформ.

Вопросы с использованием понятия «радиус эффективного теплоснабжения» в схемах теплоснабжения наиболее часто возникают в трех случаях:

1. При определении фактического (сложившегося) радиуса теплоснабжения в зоне действия источника тепловой мощности и сравнении его с РЭТ

2. При определении возможности расширения зоны действия источника тепловой мощности, с целью обеспечения новых потребителей, планируемых к строительству вне существующей зоны действия источника

3. При оценке эффектов, возникающих при принятии решения о перераспределении тепловой нагрузки между источниками, с пересекающимися (или вложенными) зонами действия

Одним из факторов является температурный график отпуска тепла [1], [2]. Влияние температурного графика на эффективный радиус теплоснабжения целесообразно рассматривать для двух вариантов: – от источника теплоснабжения; – от точки подключения.

Задачи первого класса решаются с целью выбора дальнейшей стратегии о возможной трансформации зоны действия существующего источника тепловой мощности (ее сокращении или расширении в зависимости от «совокупных затрат в системе теплоснабжения» или, по-другому, «ценовых последствий для потребителей»).

Задачи второго класса утилитарно устанавливают прямое решение задачи о возможности расширения зоны действия источника тепловой мощности и ограничений этого действия путем сравнения с РЭТ и также «ценовых последствий для потребителей»

Задачи третьего класса обеспечивают наличие информационной базы, необходимой для принятия решения о возможном перераспределении тепловой нагрузки с целью снижения совокупных затрат в системе теплоснабжения [4]

В первом варианте расчёт радиуса эффективного теплоснабжения от источника тепла для районов крупной застройки основывается на допущении, что в среднем по системе централизованного теплоснабжения, состоящей из источника тепловой энергии, тепловых сетей и потребителя, затраты на транспорт тепловой энергии для каждого конкретного потребителя пропорциональны расстоянию до источника тепловой энергии и тепловой нагрузки. Радиус теплоснабжения будет считаться эффективным, если затраты на транспорт тепла, рассчитанный по себестоимости, будет меньше или равен транспорту тепла по тарифу. На основе показателей средней себестоимости передачи тепла определяется коэффициент пропорциональности, характеризующий затраты в системе на транспорт тепла на 1 км тепловой сети, с учётом температурного графика, на единицу присоединённой мощности. Задаётся условие, что коэффициент пропорциональности принимается одинаковый для всей системы. Так как для каждого потребителя (района) затраты на транспорт тепла пропорциональны присоединённой нагрузке и расстоянию до источника, а индивидуальные особенности участков теплосети могут быть учтены через эквивалентные длины. Производится расчёт затрат на транспорт тепла для района застройки. Определяются годовые затраты на транспорт тепловой энергии от источника до потребителя, на основе среднего тарифа на транспортировку теплоносителя и себестоимость транспорта 1 Гкал, а также разница между годовыми затратами на транспорт тепла и годовыми затратами на транспорт тепла для района застройки. Радиус эффективного теплоснабжения будет считаться оптимальным, если: – годовые затраты на транспорт тепла меньше себестоимости передачи тепла; – себестоимость транспорта 1 Гкал меньше тарифа на транспорт тепловой энергии

Во втором варианте расчёт эффективного радиуса теплоснабжения от точки подключения рассматривается как предельно возможная протяжённость новой теплотрассы, исходя из условия, что выручка от реализации тепловой энергии не должна быть меньше совокупных затрат на строительство и эксплуатацию данной теплотрассы. Радиус рассчитывается отдельно для каждого объекта и не является общей установленной протяжённостью от источника теплоснабжения в целом для трассы. Величина радиуса зависит от удалённости конкретного объекта присоединения до ближайшей тепломагистрали. Главным условием присоединения объекта к централизованному теплоснабжению является тот факт, что выручка от реализации тепловой энергии по присоединяемому объекту после подключения его к источнику не должна быть меньше совокупных затрат на строительство и эксплуатацию данной теплотрассы. Задаваясь температурным графиком работы теплосети (исходя из фактического для рассматриваемого источника тепловой энергии), определяется пропускная способность в Гкал/ч, а также месячная и годовая величина полезного отпуска тепла. Рассчитываются капитальные затраты на строительство тепловой сети. Далее находится отношение совокупных затрат на строительство и эксплуатацию теплотрассы к выручке от реализации тепловой энергии. Если отношение совокупных затрат на строительство и эксплуатацию теплотрассы к выручке от реализации тепловой энергии меньше либо равно 100 %, то присоединение объекта к системе централизованного теплоснабжения от данного источника целесообразно, а значит, возможно. При значениях отношения совокупных затрат на строительство и эксплуатацию теплотрассы к выручке от реализации тепловой энергии  $>100$  %, то подключение объекта к

заданной тепловой нагрузкой будет вызывать перераспределение издержек на ранее подключённых абонентов и может привести к росту тарифов. Следовательно, подключение данного объекта к системе централизованного теплоснабжения от данного источника нецелесообразно. Таким образом, решение задач по подключению новых потребителей к системам централизованного теплоснабжения в разных регионах должно осуществляться согласно расчёту радиуса эффективного теплоснабжения с учётом температурного графика.

В третьем варианте оптимальный радиус теплоснабжения определяется из условия минимума выражения для «удельных стоимостей сооружения тепловых сетей и источника»: [6]

$$S=A+Z \rightarrow \min (\text{руб./Гкал/ч}), \quad (1)$$

где  $A$  – удельная стоимость сооружения тепловой сети, руб./Гкал/ч;

$Z$  – удельная стоимость сооружения котельной (ТЭЦ), руб./Гкал/ч

рекомендовалось использовать следующие аналитические выражения для связи себестоимости производства и транспорта теплоты с радиусом теплоснабжения (не средним, а максимальным радиусом):

$$A = \frac{1050 \cdot R^{0,48} \cdot B^{0,26} \cdot s}{\Pi^{0,62} \cdot H^{0,19} \cdot \Delta\tau^{0,38}}, \text{руб./Гкал/ч}, \quad (2)$$

$$Z = \frac{A}{3} + \frac{30 \cdot 106 \cdot \phi}{R^2 \cdot \Pi}, \text{руб./Гкал/ч}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус действия тепловой сети( длина главной тепловой магистрали самого протяженного вывода от источника), км;

$B$  – среднее число абонентов на 1 км<sup>2</sup>;

$s$  – удельная стоимость материальной характеристики тепловой сети, руб./м<sup>2</sup>;

$\Pi$  – теплоплотность района, Гкал/ч · км<sup>2</sup>;

$H$  – потеря напора на трение при транспорте теплоносителя по главной тепловой магистрали, м вод. ст.;

$\Delta\tau$  – расчетный перепад температур теплоносителя в тепловой сети, °С;  $a$  – постоянная часть удельной начальной стоимости ТЭЦ, руб./МВт;  $\phi$  – поправочный коэффициент, зависящий от постоянной части расходов на сооружение ТЭЦ. Принимая во внимание формулы (1-3) и осуществляя элементарное дифференцирование по  $R$  с нахождением его оптимального значения при равенстве нулю его первой производной, автор получил аналитическое выражение для оптимального радиуса теплоснабжения в следующем виде, км:  $R_{\text{опт}} = \frac{140}{5^{0,4}} \cdot \phi^{0,4} \cdot$

$$\frac{1}{B^{0,1}} \cdot \left(\frac{\Delta\tau}{\Pi}\right)^{0,15}$$

При этом предложено некоторое значение предельного радиуса действия тепловых сетей, которое определяется из соотношения, км:

$$R_{\text{пред}} = \left[\frac{(p-c)}{1,2 \cdot K}\right]^{2,5},$$

Где  $R_{\text{пред}}$  – предельный радиус действия тепловой сети, км;  $p$  – разница себестоимости тепла, выработанного на ТЭЦ и в индивидуальных котельных абонентов, руб./Гкал;  $c$  – переменная часть удельных эксплуатационных расходов на транспорт тепла, руб./Гкал;  $K$  – постоянная часть удельных эксплуатационных расходов на транспорт тепла при радиусе действия тепловой сети, равном 1 км, руб./Гкал. км. При этом переменная часть удельных эксплуатационных расходов на транспорт тепла, руб./Гкал:  $C = \frac{800 \cdot \varepsilon}{\Delta\tau} + \frac{0,35 \cdot B^{0,5}}{\Pi}$

где  $\varepsilon$  – стоимость электроэнергии для перекачки теплоносителя по главной тепловой магистрали, руб./кВт. ч. Постоянная часть удельных эксплуатационных расходов при радиусе действия сети, равном 1 км, руб./Гкал. км:

$$K = \left(\frac{525 \cdot B^{0,26}}{\Pi^{0,62} \cdot \Delta\tau^{0,38}}\right) \cdot \left(\frac{s \cdot a}{n_1} + \frac{0,6\xi}{10^3}\right) + \frac{12}{\Pi},$$

где  $a$  – доля годовых отчислений от стоимости сооружения тепловой сети на амортизацию, текущий и капитальный ремонт;  $n_1$  – число часов использования максимума тепловой нагрузки, ч/год;  $\xi$  – себестоимость тепла, руб./Гкал. Последняя величина( переменная часть удельных эксплуатационных расходов) учитывает стоимость сети, стоимость тепловых потерь и переменную часть стоимости обслуживания.

Расчет радиуса эффективного теплоснабжения для Новокуйбышевской ТЭЦ-1

Ввиду отсутствия утвержденных методических рекомендаций по определению эффективного радиуса теплоснабжения, в настоящей работе использованы разработки ОАО «ВНИПИэнергопром», кратко изложенные

в методе Папушкина В.Н. [5], [6], [7]. Расчет оптимального радиуса теплоснабжения, применяемого в качестве характерного параметра эффективности теплоснабжения, позволяет определить границы действия централизованного теплоснабжения по целевой функции минимума себестоимости, полезно отпущенного тепла.

Экономически целесообразный радиус теплоснабжения должен формировать решения о реконструкции действующей системы теплоснабжения в направлении централизации или децентрализации локальных зон теплоснабжения и принципе организации вновь создаваемой системы теплоснабжения. Решения по зонированию систем теплоснабжения определяются, в основном, при разработке схем теплоснабжения муниципальных образований.

$$S=A+Z \rightarrow \min, \text{руб./Гкал/ч}$$

Где А – удельная стоимость сооружения тепловой сети, руб./Гкал/ч

Z – удельная стоимость сооружения котельной (ТЭЦ), руб./Гкал/ч

Использовались следующие аналитические выражения для связи себестоимости производства и транспорта теплоты с радиусом теплоснабжения (не средним, а максимальным радиусом):

$$A = \frac{1050R^{0.48}B^{0.26}S}{\Pi^{0.62}H^{0.19}\Delta\tau^{0.38}}, \text{руб./Гкал/ч}$$

$$Z = \frac{a}{3} + \frac{30 \times 10^6 \varphi}{R^2 \Pi}, \text{руб./Гкал/ч}$$

R - радиус действия тепловой сети( длина главной тепловой магистрали самого протяженного вывода от источника), км

H- потеря напора на трение при транспорте теплоносителя по главной тепловой магистрали, м. вод. ст.

a - постоянная часть удельной начальной стоимости котельной, руб./МВт.

s- удельная стоимость материальной характеристики тепловой сети, руб./м<sup>2</sup>.

B- среднее число абонентов на км<sup>2</sup>

Π- теплоплотность района, Гкал/ч·км<sup>2</sup>

Δτ- расчетный перепад температур теплоносителя в тепловой сети, °С.

φ- поправочный коэффициент, зависящий от постоянной части расходов на сооружение котельной

Принимая во внимание формулы определения удельной стоимости сооружения котельной, удельной стоимости сооружения тепловой сети и осуществляя элементарное дифференцирование по R с нахождением его оптимального значения при равенстве нулю его первой производной, получают аналитическое выражение для оптимального радиуса теплоснабжения в следующем виде:

$$S = b + \frac{30 \times 10^8 \varphi}{R^2 \Pi} + \frac{95 \times R^{0.86} B^{0.26} S}{\Pi^{0.62} H^{0.19} \Delta \tau}$$

Для выполнения условия по минимизации удельных стоимостей сооружения тепловых сетей и источника полученная зависимость была продифференцирована по параметру R и ее производная приравнена к нулю. Была получена расчетная формула, по которой проводились расчеты радиуса теплоснабжения г. о. Новокуйбышевск.

$$R_{\text{э}} = 563 \cdot \left(\frac{\varphi}{S}\right)^{0.35} \cdot \frac{H^{0.07}}{B^{0.09}} \cdot \left(\frac{\Delta\tau}{\Pi}\right)^{0.13}$$

По полученной формуле определялся эффективный радиус теплоснабжения для теплового источника г. Новокуйбышевска.

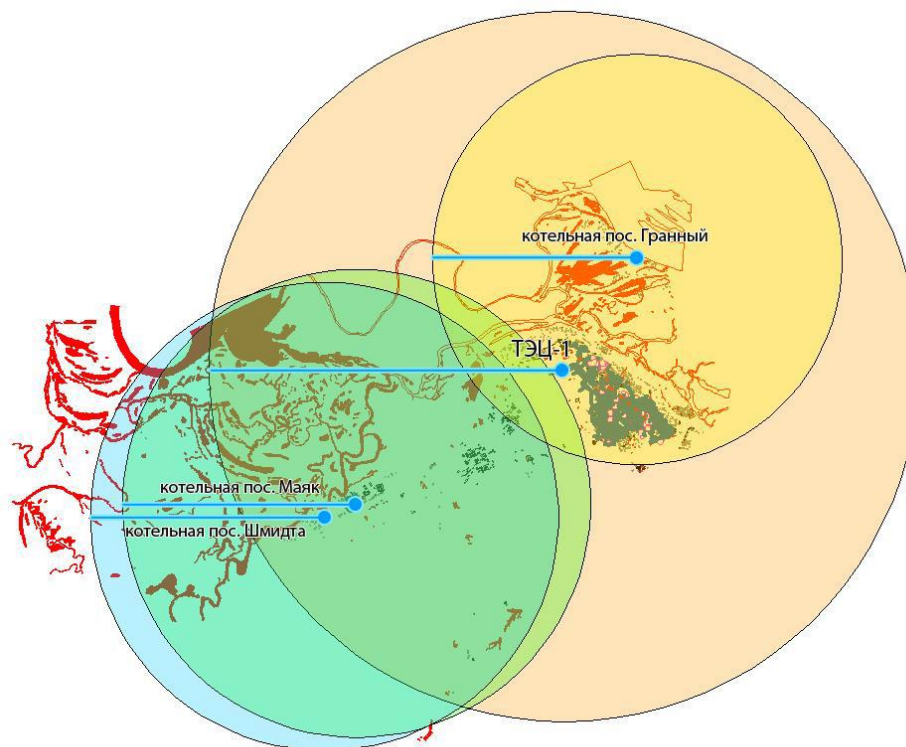
Результаты расчетов приведены в таблице 1. и на рисунке.1.

Таблица 1.

**Расчет эффективного радиуса теплоснабжения от источников тепловой энергии г. о. Новокуйбышевска**

| Наименование параметра   | Условное обозначение | ТЭЦ-1   |
|--|----------------------|---------|
| Потеря напора на трение при транспорте теплоносителя по главной тепловой магистрали, м. вод. ст. | H                    | 80      |
| Поправочный коэффициент, зависящий от постоянной части расходов на сооружение котельной          | φ                    | 1.3     |
| Расчетный перепад температур теплоносителя в тепловой сети, °С                                   | Δτ                   | 80      |
| Площадь отапливаемого района, км <sup>2</sup>  | М                    | 12.0600 |

|   |   |          |
|---|---|----------|
| Теплоплотность района Гкал/ч·км <sup>2</sup>  | П | 31.8325  |
| Среднее число абонентов на км <sup>2</sup>  | В | 106.9652 |
| Удельная стоимость материальной характеристики тепловой сети, руб./м <sup>2</sup>                           | S | 35065    |
| Радиус действия тепловой сети(длина главной тепловой магистрали самого протяженного вывода от источника),км | R | 15.9329  |



*Рисунок 1. Графическое представление радиуса эффективного теплоснабжения источников тепловой энергии на карте г.Новокуйбышевск.*

Предложенная в работе методика позволила рассчитать радиус эффективного теплоснабжения Новокуйбышевской ТЭЦ-1 с целью определения возможностей присоединения перспективной нагрузки в различных районах существующей тепловой сети. Из графиков на рис.1. можно сделать вывод о наличии или отсутствии резервов по пропускной способности с существующих магистральных тепловых сетей. Полученные сведения пригодятся при составлении балансов производства тепловой энергии, потребления топлива, воды и электроэнергии на Новокуйбышевской ТЭЦ-1

#### **Список литературы**

1. Барановская М.Г. Проблемы присоединения новых потребителей. Эффективный радиус теплоснабжения. / М. Г. Барановская, А. Н. Билан, Ю. И. Романова. // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: XVI Междунар. науч.-практ. конф. - Чита. - 2016. -С. 189–192.
2. Батухтин А. Г.. Повышение эффективности современных систем теплоснабжения/ А.Г. Батухтин, С.А. Иванов, М.В. Кобылкин, А.В. Миткус.//Вестник забайкальского государственного университета.-2013.-№9.-с.112-120
3. Копьев, С.Ф. Элементы оборудования тепловых сетей / С.Ф. Копьев, Е.Я. Соколов. // М.: Трансжелдориздат, 1963. — 112 с.
4. Папушкин В.Н., Полянцев С.О . Методика расчета радиуса эффективного теплоснабжения для схем теплоснабжения [Электронный ресурс] [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=1601](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1601)
5. Папушкина В.Н. «Радиус эффективного теплоснабжения»/В.Н Папушкина // Новости теплоснабжения. – 2010. – №9 С.44-49
6. Папушкин В.Н. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое. [Электронный ресурс] [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2801](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2801)
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети //М.: Издательство МЭИ, 1999 г.

8. СНиП 41-02-2003 "ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ"